Natural History Museum Library
000233038

205

205

SOCIÉTÉ
GÉOLOGIQUE
DE FRANCE.

205.

PARIS. — IMPRIMERIE DE L. MARTINET,
IMPRIMEUR DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE, RUE MIGNON, 2.

Bulletin

DE LA

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE

DE FRANCE.

Deuxième Série.

Tome Quatrième. Deuxième partie.

1846 A 1847.

PARIS,

AU LIEU DES SÉANCES DE LA SOCIÉTÉ,

RUE DU VIEUX-COLOMBIER, 26.

1847.

surface du globe (extr. du *Bull. de la Soc. géol. de Fr.*. 2e sér., t. IV); in-8o, 8 p. Paris, 1847.

De la part de M. Henri Lecoq, *Des glaciers et des climats, ou des causes atmosphériques en géologie;* in-8o, 566 p. Paris, 1847, chez P. Bertrand; Strasbourg, chez veuve Levrault.

De la part de M. Cotteau, *Aperçu sur la géologie du départ. de l'Yonne;* in-8o, 23 p., 1 tabl. Auxerre, 1847.

De la part de M. Ernest Puton, *Essai sur les mollusques terrestres et fluviatiles des Vosges* (extr. de la *Statistique du départ. des Vosges*, publiée par MM. H. Lepage et Ch. Charton); in-8o, 104 p. Épinal, chez Valentin. 1847.

De la part de M. Jules Grange, *Recherches sur les glaciers, les glaces flottantes*, etc...; in-8o, 142 p. Paris, 1847, chez Victor Masson.

De la part de M. Agassiz, *Système glaciaire, ou recherches sur les glaciers, leur mécanisme, leur ancienne extension et le rôle qu'ils ont joué dans l'histoire de la terre*, par MM. Agassiz, A. Guyot, et E. Desor; 1re partie. — *Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol;* in-8o, 598 p., avec un atlas in-folo de 3 cartes et 9 pl. Paris, 1847, chez Victor Masson.

De la part de M. le professeur A. Favre, *Notice sur les cartes géologiques de l'Angleterre* (extr. de la *Bibl. univ. de Genève.....*); in-8o, 23 p. Genève, 1847, chez Ferdinand Ramboz.

De la part de M. Joachim Barrande, 1o *Notice sur le système silurien et les Trilobites de Bohême;* in-8o, 97 p. Leipsic, 1846, chez C.-L. Hirschfeld;

2o *Nouveaux Trilobites*, supplément à la notice ci-dessus; in-8o, 40 p. Prague, 1846, librairie Calve.

De la part de M. R.-J. Murchison, 1o *On the silurian system of rocks* (Sur le système silurien des roches) (extrait du *London and Edinburgh philosophical magazine*, for july 1835); in-8o, p. 45-51.

De la part de M. Léonard Horner, *Address*, etc. (Discours prononcé à la réunion annuelle de la Soc. géol. de Londres, le

19 février 1847); in-8°, 72 p. Londres 1847, chez Richard et John E. Taylor.

De la part de M. James D. Dana, *On the volcanoes of the moon* (Sur les volcans de la lune) (extrait de l'*American Journal of science*, vol. II, 2e série); in-8°, 23 p. New-Haven, 1846, chez B.-L. Hamlen.

De la part de M. Ed. Eichwald, 1° *Naturhistorische Skisse*, etc. (Esquisse d'histoire naturelle de la Lithuanie, de la Volhynie et de la Podolie, sous le rapport géognostico-minéralogique, botanique et zoologique); in-4°, 256 p., 3 pl. Wilna, 1830, chez Jos. Zawadzki;

2° *Ueber das silurische Schichtensystem in Esthland* (Sur le système des couches siluriennes en Esthonie); in-8°, 210 p. Saint-Pétersbourg, 1840.

Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1er semestre, nos 20, 21, 22.

Bulletin de la Soc. d'hist. nat. du départ. de la Moselle; 4e cahier. Metz, 1846.

Mémoires de la Société royale des sciences, lettres et arts de Nancy. Année 1844.

Bulletin des séances de la Soc. d'agricult., sciences, arts et comm. du Puy; t. V, 1re liv. 1847.

Précis analytique des travaux de l'Académie royale des sciences, belles-lettres et arts de Rouen pendant l'année 1846.

Comité institué à Valenciennes pour la défense du travail national. — *Rapport présenté au congrès central d'agriculture au nom de la commission des assurances*, par M. Duchataux; in-8°, 20 p. Valenciennes, 1847.

The Athenæum, 1847, nos 1021, 1022, 1023.

The Mining Journal, 1847, nos 613, 614, 615.

Proceedings of the royal Irish Academy; 1844-1845, vol. III, part. 1. — 1846, vol. III, part. 2.

The Transactions of the royal Irish Academy; vol. XXI, part. 1.

Correspondenzblatt, etc. (Feuille de correspondance de la Société royale d'agriculture de Wurtemberg); nouv. sér., vol. XXXI. Année 1847, t. I, 1er cahier.

Proceedings of the Academy of natural sciences of Philadelphia; vol. III, nos 4-5, july-octob. 1846.

Observations sur la position relative des terrains des Alpes suisses occidentales et des Alpes de la Savoie, par M. Favre, professeur à l'Académie de Genève.

(Communication faite dans la séance du 19 avril dernier.)

Si nous jetons un coup d'œil rapide sur les terrains qui forment les Alpes suisses occidentales et les Alpes de la Savoie, en nous attachant surtout à déterminer les relations de position qui existent entre eux, nous trouvons que ces montagnes sont composées de la manière suivante :

1° *Terrains de cristallisation* — formés par des roches variées fort généralement connues, et sur lesquelles nous ne nous arrêterons pas.

2° *Roches métamorphiques.*— Ce sont des gneiss, des micaschistes, des protogynes schisteuses, etc. Ces roches reposent d'une manière irrégulière sur le terrain de cristallisation.

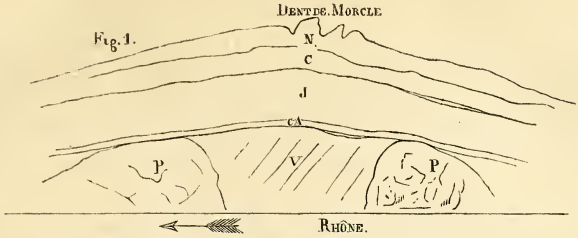
3° *Poudingue ou système de Valorsine* en couches puissantes contenant souvent de l'anthracite. En général ce système est formé à sa partie supérieure par des schistes, des grès ou des calcaires très argileux, renfermant beaucoup d'empreintes de fougères; quelquefois ces dernières roches manquent parce que dans les grands soulèvements les roches argileuses sont plus facilement comprimées que les autres et disparaissent.

Je n'ai point encore eu l'occasion d'observer en Savoie de discordance entre ce système à anthracite, et les roches métamorphiques (1).

4° Au-dessus du système de Valorsine viennent les calcaires et les schistes plus ou moins argileux du *terrain jurassique*, terminés à leur partie inférieure par une couche de carnieule ou calcaire magnésien celluleux. Ces terrains jurassiques sont à stratification discordante avec le système de Valorsine. On peut faire cette observation sur la rive droite du Rhône, entre Bex et Martigny. Le Valais forme là une immense coupure à peu près perpendiculaire

(1) Cependant cette discordance a été indiquée dans les Alpes du Dauphiné, dans le *Bulletin de la Société géologique de France*, réunion à Grenoble, 1840, t. XI, et dans mon Mémoire sur les anthracites des Alpes.

à la direction des terrains des Alpes. On y voit (fig. 1) que les ter-



Terrains : N nummulitique, C crétacé, J jurassique, CA carnieule, V système de Valorsine, P protogyne.

rains cristallins ou métamorphiques forment deux chaînes parallèles qui s'enfoncent sous les terrains secondaires de la chaîne septentrionale du Valais. Le système de Valorsine est compris entre ces deux chaînes et les recouvre seulement en partie, tandis que la carnieule surmontée des terrains jurassiques les enveloppe entièrement, et l'on peut dire que ces terrains, malgré les accidents auxquels ils sont soumis, forment une espèce de voûte qui s'étend des bains de Lavey à Saillon en Valais, et qui s'élève dans le massif de montagnes couronné par la dent de Morcles.

D'ailleurs la stratification des terrains jurassiques est transgressive avec celle du système de Valorsine.

5° *Le terrain crétacé* repose sur le terrain jurassique. Il se subdivise de la manière suivante :

a. Néocomien qui est caractérisé par l'*Holaster complanatus*, et où dans des blocs erratiques on a trouvé les *Crioceras*.

b. Première zone de rudistes de M. d'Orbigny, ou calcaire à Hippurites ou à *Chama Ammonia*. On n'y voit jamais de Nummulites. Cette couche est celle qui a le plus d'influence sur le relief du sol des districts crétacés des Alpes. Elle forme en général des arêtes dentelées, très élevées et très arides.

c. Terrain albien, *gault ou grès vert* très riche en fossiles. Dans certaines localités il semble alterner avec des couches calcaires.

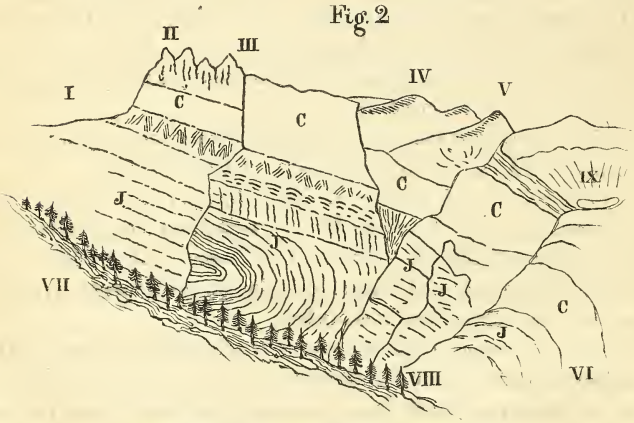
d. M. Studer a décrit dans le centre de la Suisse un terrain sous le nom de *calcaire de Seeven*. Ce terrain n'existe ni dans les Alpes de la Suisse occidentale, ni dans celles de la Savoie. Aux Diablerets, par exemple, on peut placer la main de manière qu'une de ses extrémités repose sur le grès vert, et l'autre sur le calcaire à Nummulites; souvent même les fossiles de ces deux couches sont

mélangées. Cette observation répétée dans plusieurs autres localités indique bien la non-existence du calcaire de Seeven dans ces régions.

Tous ces étages du terrain crétacé sont concordants les uns avec les autres, mais ils sont à stratification discordante avec les terrains jurassiques. En effet, les terrains jurassiques ont été affectés par des dislocations avant le dépôt des terrains crétacés. Ces dislocations sont attestées par de grands contournements. Ils se voient dans le fond de quelques unes de ces profondes vallées qui laissent apercevoir la structure intérieure des montagnes.

Ces contournements, ou plutôt ce contournement, car c'est un seul accident qu'on remarque en différentes localités, est placé sur une ligne à peu près droite et parallèle aux Alpes. Je l'ai observé sur une longueur de treize lieues environ, dont le point le plus septentrional est la dent de Daily, au-dessus des bains de Lavey (rive droite du Rhône). Ces couches contournées passent au-dessous du grand massif de la dent du Midi, et reparaissent au sud-est sous les glaciers du mont Ruan, au fond de la Combe de Sixt; on les retrouve également dans la partie inférieure de la montagne des Fiz, du côté de Sixt, où les couches présentent l'arrangement indiqué dans la fig. 2.

Fig. 2. *Le contournement nommé Faucilles du Chantet, vu des pentes du Criou.*



Terrains : J. jurassique, C. crétacé.

I. Col d'Anterne,
II. Les Fiz,
III. Le Colet,
IV. Platet,
V. Petite Pelouze,
VI. Passage des Tines,
VII-VIII. Forêt de sapins,
IX. Lac de Gers.

Ce grand contournement traverse au-dessous des montagnes des Fiz, et se fait voir à la célèbre cascade de l'Arpennaz, sur les bords de l'Arve.

Enfin, une cinquième localité où la même observation peut être répétée est près de la Giétaz, dans la vallée de Mégève. Dans toutes ces localités le contournement des couches est situé dans les terrains jurassiques, tandis que le terrain crétacé recouvre ces dislocations sans y participer.

6° *Le calcaire à Nummulites* qui a supporté toutes les dislocations qui ont donné au sol crétacé son relief. En outre des caractères indiqués par M. Leymerie pour ce terrain dans les Corbières (1), il fournit dans les Alpes les deux observations suivantes.

Nous remarquerons d'abord que ce terrain contient une couche de charbon assez considérable pour être exploitée en quelques points. Les localités sont, en allant du N.-E. au S.-O. : la chaîne du Titlis (2), à la limite des cantons de Berne et d'Unterwald; les hauteurs de Beatenberg et d'Habkeren (3), au nord du lac de Thoune, et le Mittaghorn, au midi de Frutigen. Ces localités sont indiquées par M. le professeur Studer. Il en est d'autres encore que j'ai moi-même visitées, savoir : la célèbre couche des Diablerets, où le charbon se trouve associé au *Cerithium diaboli* et à d'autres fossiles, la mine de Pernant, non loin d'Arrache, rive droite de l'Arve. Cette mine a été décrite par M. le professeur Necker, en 1826 (4). J'ajouterai seulement à ses observations que la couche à fossiles est placée au contact et au-dessous du vrai calcaire à Nummulites, et fait partie de ce terrain. La mine de charbon du Petit-Bornant, près Bonneville et celle d'Entrevergne, sur la rive méridionale du lac d'Annecy. Ces huit localités à peu près alignées parallèlement aux Alpes indiquent qu'il s'était formé, à l'époque du dépôt de calcaire à Nummulites, un terrain carbonifère ayant une grande étendue, qui a été soumis à des dislocations et à des dénudations.

Un second caractère du terrain à Nummulites qui a une importance théorique plus grande est le suivant : *ce terrain est indépen-*

---

(1) *Mémoires de la Société géologique de France*, 2e sér., t. I.

(2) Studer, *Mémoires de la Société géologique de France*, 1re sér., t. III, p. 394. C'est seulement un schiste carburé.

(3) Studer, *Idem*, p. 388. On y exploite du charbon depuis quarante ans.

(4) *Bibliothèque universelle de Genève*, Sciences et Arts, t. XXXIII, p. 90.

dant par un gisement des terrains crétacés qui lui sont inférieurs. Ce fait important mérite quelques détails. Les couches à Nummulites sont, comme je l'ai dit, superposées au terrain albien et à la première zone de Rudistes. Mais aux Voirons, près Genève, les roches nummulitiques, sous forme de grès (1), reposent sur une couche peu épaisse de calcaire jurassique dont l'âge exact est indéterminé, mais qui est superposée à un calcaire incontestablement oxfordien. Une discordance analogue a été signalée par M. Chamousset dans la chaîne du Nivolet, près d'Aix, où les roches Nummulitiques reposent sur le calcaire corallien, et il dit les avoir vues dans la vallée de Thônes en contact avec un calcaire noir oxfordien, et que *M. Sismonda les a vues dans les Alpes maritimes reposant tantôt sur la craie inférieure, tantôt sur le néocomien, et tantôt sur des couches jurassiques qu'il présume être du lias* (2). D'un autre côté M. le professeur Studer a trouvé le terrain à Nummulites reposant dans le canton d'Appenzell sur le calcaire de Seeven, qui, comme je l'ai dit, est supérieur au terrain albien, dans les environs du lac de Thoune, sur le calcaire à Rudistes, et au mont Faudon, près de Gap, sur l'Oxford-Clay.

Tous ces témoignages prouvent donc évidemment l'indépendance du terrain à Nummulites des Alpes.

7° *Le Flysch ou le Macigno* est formé par des grès fins, micacés ou talqueux, par des grès quartzeux grossiers, par des schistes ou des brèches calcaires qui ont parfois une ressemblance étonnante avec les roches du lias. Approximativement au tiers de son épaisseur ce terrain contient des carnieules et des gypses *en couches*. Jamais je n'ai trouvé de Nummulites dans le macigno, mais les débris de poissons y sont abondants dans quelques localités : ce sont des écailles, des nageoires et de petites mâchoires. M. Agassiz a reconnu quelques uns de ces fragments comme caractérisant des poissons de l'époque crétacée (3).

Ce terrain paraît identique au macigno italien, quoique M. Pilla, dans ses nouvelles observations sur le terrain hétrurien, le place

---

(1) Depuis plusieurs années M. Boué a signalé les Nummulites dans les grès aux Voirons (*Guide du géologue voyageur*, t. II, p. 395). J'ai pu répéter cette observation. — Les grès de la Valerette, au pied de la dent du Midi, près Saint-Maurice en Valais, contiennent aussi des Nummulites.

(2) *Bulletin de la Soc. géol. de France*, 2e sér., t. I, p. 624.

(3) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e série, 1844, t. I, p. 626.

au-dessous du calcaire à Nummulites (1). Comme lui nous en avons reconnu l'indépendance. En effet, lorsqu'on chemine de Saint-Jeoire à Samoens en Savoie, on voit que le macigno ou flysch s'étend en couches à peu près horizontales, quoique ondulées, sur la rive gauche du Giffre. Ces couches s'appuient au N.-O. sur des couches jurassiques, et au S.-E. sur le calcaire à Nummulites qui lui-même est placé sur le calcaire à *Chama Ammonia*. Cette observation constate que le macigno est indépendant du calcaire à Nummulites. Par conséquent ces deux terrains, *le calcaire à Nummulites et le macigno, sont tous deux indépendants des terrains crétacés et indépendants l'un de l'autre.*

La pointe de Marcely qui s'élève à 1,280 mètres environ au-dessus de la petite ville de Taninge est entièrement formée par les couches à peu près horizontales dont je viens de parler. Ce nombre donne une idée approximative de l'épaisseur de ce terrain. Or, comme il a subi toutes les dislocations qui ont formé le relief actuel des Alpes, il est probable que pour avoir la vraie hauteur à laquelle se sont élevés anciennement plusieurs des districts calcaires de cette chaîne de montagnes, il faut ajouter à la hauteur actuelle des aiguilles et des pics dont ils sont hérissés l'épaisseur des terrains qui ont été soumis aux mêmes modifications. Ainsi il faut ajouter à l'énorme hauteur de la Pointe-Percée (2), formée par le calcaire à *Chama Ammonia*, l'épaisseur du terrain nummulitique et celle de macigno; et au Buet dont la cime est jurassique il faut reporter les terrains crétacés et nummulitiques ainsi que les 1,300 mètres de macigno. Les roches de ce dernier terrain étant assez friables, une partie a dû s'écrouler au moment du soulèvement, mais il est probable que dans quelques points elles ont subsisté, et que ce n'est que peu à peu, par dénudations et par éboulements, que certaines aiguilles se sont abaissées à la hauteur encore considérable qu'elles atteignent aujourd'hui.

M. de Wegmann, au nom de la Commission nommée le 4 janvier dernier, lit le rapport suivant sur la gestion de l'archiviste pendant l'année 1846 :

---

(1) *Mém. de la Soc. géol. de France*, 2e sér., 1846, t. II, p. 163 et suiv.

(2) Cette haute sommité est placée à la limite de la vallée du Reposoir, et n'a jamais été mesurée.

Messieurs,

La Commission que vous avez nommée le 4 janvier dernier, sur la proposition du Conseil d'administration, pour procéder à la vérification annuelle de l'état de vos *archives*, m'a chargé d'avoir l'honneur de vous lire son rapport. — Nous nous conformerons au classement adopté, en passant successivement en revue les cinq sections en lesquelles se divisent vos propriétés scientifiques et mobilières.

I. Archives proprement dites. — Elles sont partagées en trois divisions, savoir : — 1° *Les titres concernant la Société et la comptabilité*; — 2° *les archives générales*; — 3° *la correspondance*. — Dans la première section sont classés : l'ordonnance royale constitutive de la Société; l'ordonnance relative au legs Roberton; les baux; les états des lieux occupés par la Société; les polices d'assurance; les traités avec les imprimeurs de son *Bulletin* et les éditeurs de ses *Mémoires*. Les registres des recettes et des dépenses de 1830 au 31 décembre 1846; les comptes et les pièces justificatives de toute nature concernant la gestion du trésorier; les notes des Mémoires retirés de chez l'éditeur et livrés aux membres font partie de cette section, et nous les avons trouvés dans le meilleur ordre. — La seconde section comprend les minutes des procès-verbaux des séances de la Société; les Notices et Mémoires imprimés dans ses *Bulletins* et ses *Mémoires*; les minutes des registres des séances du Conseil; les listes des noms des membres par ordre d'admission; les registres des feuilles et volumes du *Bulletin* qui sont envoyés aux membres, aux Sociétés savantes, ou échangés contre des publications périodiques; les registres d'inscription des dons faits à la Société; le catalogue de la bibliothèque et des collections, et les inventaires du mobilier et du magasin. Votre Commission de l'année dernière avait fait observer avec raison que les minutes des procès-verbaux des séances de la Société et du Conseil semblaient devoir rendre inutile la conservation des ordres du jour. Nous avons partagé cette opinion, et autorisé la suppression de ces pièces, qui encombraient inutilement les cartons.

La correspondance forme la troisième section. Le nombre

des lettres reçues depuis l'origine de la Société, en 1830, jusqu'au 31 décembre 1845, portées sur un état particulier, s'élevait à 1,794, non compris les lettres d'envoi et de remerciements, qu'il eût été superflu d'enregistrer, non plus que celles qui concernent l'élection du président, lesquelles sont déchirées séance tenante. Ce chiffre s'est accru de 84 lettres reçues pendant l'année 1846; mais, ainsi que cela s'est fait jusqu'à présent, nous n'avons conservé parmi ces lettres que celles qui nous ont paru de quelque importance. Huit lettres ainsi choisies sont venues se joindre à la collection d'autographes, dont le nombre est aujourd'hui de 422, y compris la correspondance de M. Boué. Quant aux lettres relatives aux affaires constitutives de la Société, elles sont réunies dans une liasse particulière. — Ici, Messieurs, vient se placer une observation. Nous avons voulu nous rendre compte de ce que coûtaient les lettres envoyées chaque année par les membres des départements et de l'étranger, à l'occasion de l'élection du président. Cette dépense, en 1846, ne s'est pas élevée à moins de 90 fr. Quelques unes de ces lettres ont coûté jusqu'à 3 et 4 fr. de port, et plusieurs, étrangement attardées, ne sont arrivées qu'un mois après l'élection. Il suffira sans doute de signaler ce fait pour espérer qu'à l'avenir ceux de nos lointains confrères qu'il concerne voudront bien s'y prendre de manière que leur vote, s'il ne peut nous parvenir à moins de frais, nous parvienne du moins en temps utile.

II. Bibliothèque. — La Société a reçu, dans le courant de 1846, 166 livraisons ou numéros de publications périodiques ou non périodiques; 7 brochures; 202 numéros de journaux; 12 cartes; 1 tableau, et 69 volumes. Par suite de ces accroissements, la bibliothèque se composait, au 30 décembre 1846, de : 2,014 volumes; 5,386 livraisons, brochures, cahiers et numéros de journaux; 208 cartes, plans et dessins; 5 atlas; 10 portraits; 422 lettres autographes.

Par décision du Conseil, les cartes qui peuvent être réunies doivent être reliées en atlas; les autres collées sur toile, format in-4°. Cette mesure a reçu un commencement d'exécution. Le même esprit de conservation a porté M. l'archiviste à faire relier en volumes, autant que le comporte la diversité du format et

de la matière, beaucoup de brochures qu'une lecture fréquente commençait à détériorer, et qui couraient risque de se perdre. Il résulte de là que les chiffres ci-dessus énumérés subiront nécessairement des modifications, puisqu'un certain nombre de cartes se convertissent successivement en atlas, et un certain nombre de brochures en volumes.

Un travail aussi long que fastidieux, la collation complète de la bibliothèque et la refonte de son catalogue, commencé par M. Clément-Mullet, a été courageusement achevé par votre agent. Tous les documents ont été également préparés pour le classement des cartes, atlas, plans, coupes et dessins, et la confection du catalogue de cette importante division. Le catalogue des livres sur cartes volantes et le registre d'inscription à l'arrivée des dons faits à la Société continuent d'être tenus avec exactitude. Grâce à tous ces soins, et moyennant la somme importante allouée pour la reliure, votre bibliothèque, déjà si riche dans sa spécialité, ne satisfera pas moins par sa tenue extérieure et par la facilité apportée dans les recherches.

III. Collections. — La collection de roches, minéraux et fossiles comprenait, au 31 décembre 1845, 10,961 échantillons. La Société en a reçu 141 dans le cours de l'année dernière, savoir : 56 roches et 85 fossiles. M. l'archiviste a continué de caser dans les tiroirs, et par ordre géographique, tout ce qui lui a paru complet comme étude de localités ; le reste a été distribué par terrains. Quelques centaines d'échantillons, sans indication précise d'origine, ont été conservés à part, dans le but de servir à des échanges. Il existe des catalogues partiels de ces subdivisions, mais le catalogue général reste encore à faire. Ce travail difficile, déjà accompli pour le bassin tertiaire de Paris par M. le marquis de Roys, votre archiviste actuel, sera sans doute achevé par lui ; nous avons lieu de l'espérer de son dévouement et de sa compétence. Un tableau récapitulatif de ces collections locales, dressé dans l'ordre géographique, accompagnait le rapport étendu qui vous fut fait en 1839 par M. Desnoyers, au nom de la Commission des archives (*Bull.*, 1re sér., t. X). Nous y renvoyons les membres admis depuis cette époque, qui seraient curieux de s'y renseigner. Nous croyons, à vrai dire, peu désirable l'accroissement de ces richesses, qui

remplissent ou plutôt engorgent déjà 253 tiroirs. — Sans parler de la dépense à faire pour l'achat de nouveaux meubles, qu'il serait même difficile de caser dans ce local, ces collections n'offriront jamais des ressources suffisantes aux travailleurs : le voisinage du Muséum et de l'École des mines en amoindrit encore l'utilité. Il est même à souhaiter qu'un triage intelligent remédie dès aujourd'hui à ce commencement d'obstruction, de manière à ne conserver dans les tiroirs, et surtout à n'y admettre à l'avenir, que les roches et les fossiles présentés à l'appui de communications spéciales, relatives à des études de localités.

IV. Mobilier. — Aucune acquisition qui mérite d'être mentionnée n'a été faite en 1846. L'inventaire du mobilier est donc le même que celui de l'année précédente.

V. Magasin. — Il nous reste à vous dire un mot de la dernière partie de vos archives, celle qui comprend l'emmagasinage des exemplaires restants du *Bulletin* et des *Mémoires*. Il existait en magasin au 31 décembre 1846, savoir :

Mémoires : 1re série, demi-volumes, 3 ; 2e série, tome 1er, 1re partie, 52 ; 2e, 111 ; tome II, 1re partie, 141. En tout 307 parties ou demi-volumes des *Mémoires*.

Bulletin : 1,379 exemplaires.

Il reste en outre une assez grande quantité de défets, sur lesquels on prélève les feuilles perdues réclamées par quelques membres. Votre agent tient avec soin des feuilles mensuelles indiquant, au 1er de chaque mois, la situation du *Bulletin* et des *Mémoires*. Ces notes sont remises au trésorier.

Quelques exemplaires des *Mémoires paléontologiques et géologiques* de M. Boué et de sa *Description de l'Écosse* sont encore disponibles. Ces ouvrages sont délivrés gratuitement à ceux des membres qui en font la demande.

Le rapport que nous venons d'avoir l'honneur de vous lire vous garantit, Messieurs, l'état satisfaisant de vos propriétés scientifiques et mobilières : ces propriétés s'accroissent et s'améliorent ; le meilleur ordre préside à leur conservation. Vous en êtes redevables aux soins éclairés de vos archivistes successifs.

Votre Commission vous propose d'adresser des remercie-

ments à M. Clément-Mullet, et de lui donner décharge honorable de sa gestion.

Signé : FAUVERGE, DELAFOSSE,
DE WEGMANN, *rapporteur.*

M. D'Archiac remercie M. Dufrénoy, au nom de la Société, de l'hommage qu'il vient de lui faire de son *Traité de minéralogie.*

M. D'Archiac met sous les yeux de la Société une collection de fossiles envoyée par M. Pratt, et communique ce qui suit :

Extrait d'un Mémoire sur les fossiles des couches à Nummulites des environs de Bayonne et de Dax.

M. S.-P. Pratt ayant bien voulu nous adresser de Londres la riche collection de fossiles qu'il avait recueillie avec le plus grand soin dans les falaises de Biaritz, et M. Delbos nous ayant également communiqué les échantillons résultant de ses études géologiques sur les couches correspondantes de l'arrondissement de Dax, nous nous sommes occupé d'un travail destiné à faire suite à celui qui a été publié l'année dernière (1), et qui avait pour objet la description des corps organisés trouvés par M. Thorent aux environs de Bayonne, et présentés à l'appui de son intéressant Mémoire géologique sur cette localité.

La collection de M. Pratt, la plus complète que nous ayons encore vue des côtes de Biaritz, renferme 162 espèces, dont 48 sont décrites comme nouvelles, et elle confirme ce que nous savions déjà de l'abondance et de la variété des petites espèces de polypiers dans cette localité; mais elle fait voir en outre que les mollusques gastéropodes, sans atteindre encore le développement des acéphales, y sont cependant beaucoup plus communs que nous ne l'avions pensé d'abord.

M. Delbos a décrit tout récemment les couches à Nummulites des environs de Dax et de Saint-Sever, situées à 20 et 25 lieues au N.-E. des précédentes, et si ses recherches n'ont pas fait connaître un aussi grand nombre d'espèces, celles qu'il a recueillies sont intéressantes à d'autres égards. M. Delbos a établi, dans la série des couches nummulitiques qu'il a étudiées, des divisions qui n'avaient pu être tracées d'une manière aussi précise pour les en-

(1) *Mém. de la Soc. géol. de France*, 2e sér., vol. II, p. 189. 1846.

virons de Bayonne, et la distribution dans ses trois étages des 39 espèces que nous avons déterminées fait voir que les crustacés, les Térébratules et les ostracées dominent presque exclusivement dans l'étage inférieur, et les Nummulites dans le supérieur. Les radiaires échinodermes se montrent dans les trois étages, mais plus particulièrement dans le second. Quant aux polypiers et aux gastéropodes, ils paraissent être fort rares partout.

Si l'on compare cette faune à celle des environs de Bayonne, on voit d'abord qu'il n'y a que la moitié des espèces qui soit commune aux deux localités, et ensuite, que les Polypiers, dont nous connaissons 60 espèces dans les falaises de Biaritz, sont réduits à 4 ou 5 aux environs de Dax et de Montfort. Les Nummulites sont aussi nombreuses d'un côté que de l'autre, et, sur 10 espèces que nous avons cru distinguer, 5 sont communes sur ces deux points et également abondantes. Les ostracées suivent un développement inverse de celui des polypiers, et sont infiniment plus nombreux et plus variés au N.-E. qu'au S.-O., et nous venons de dire que les gastéropodes, très rares dans la première localité, étaient au contraire assez répandus dans la seconde.

La grande quantité d'échantillons recueillis par M. Delbos nous permet de juger de la proportion relative des individus et des genres dans cette partie du bassin, et d'apprécier les différences essentielles de ces deux faunes contemporaines, éloignées seulement de 20 à 25 lieues l'une de l'autre. Ces modifications, en allant du S.-O. au N.-E., seraient en outre une forte présomption en faveur de l'opinion que nous allons émettre; mais nous ferons remarquer auparavant que si l'on cherche à appliquer aux côtes situées à l'O. de Bayonne les divisions proposées pour les environs de Dax, on trouvera que les couches à Nummulites placées sous le phare de Biaritz, et qui disparaissent au N. sous les dunes, se prolongeant au S. jusqu'au vieux port, comme l'a établi M. Thorent, représentent le premier étage de M. Delbos. Celles qui leur succèdent, en se relevant du vieux port aux rochers du Goulet, appartiennent probablement au second; et, au-delà du ruisseau qui débouche près de ces rochers jusqu'à celui du moulin Sopite, on voit des calcaires marneux bleuâtres et grisâtres, puis des calcaires sableux jaunâtres avec les Térébratules, les ostracées et les crustacés de l'étage inférieur (1).

---

(1) Nous ne pouvons dire encore jusqu'où ces trois divisions se maintiennent dans la région pyrénéenne; mais il est certain que, même en agrandissant considérablement leur échelle, elles ne seront

Si nous rassemblons maintenant tous les éléments que nous connaissons de cette faune nummulitique des départements des Landes et des Basses-Pyrénées, nous trouverons un total de 265 espèces (1), dont 56 n'ont pas été déterminées spécifiquement, mais qui doivent être regardées en grande partie comme particulières à cette région. Des 209 espèces déterminées, les seules que nous considérerons ici, 128 ou plus de la moitié sont propres à ce bassin ; 10 ou 1/21 se retrouvent dans les couches à Nummulites des Corbières et de la montagne Noire ; 12 dans celles d'autres parties de l'Europe. 48 ou un peu plus de 1/4 existent dans les dépôts tertiaires inférieurs ; 22 ou un peu plus de 1/9 dans ceux de l'époque tertiaire moyenne, et à cet égard il nous reste quelque incertitude, les couches d'Osnabruck et d'autres parties de la Westphalie que nous rapportons à cette époque pouvant être plus anciennes ; enfin 4 espèces ou 1/52 appartiennent aussi à la craie. Ces dernières sont une petite Térébratule de la craie supérieure de Belgique et trois espèces d'Huîtres, qui, sur la côte comme aux environs de Dax, se montrent dans l'étage inférieur du groupe nummulitique, lequel repose immédiatement sur la craie.

Nous sommes ainsi conduit à mettre d'abord en parallèle cette faune avec celle du terrain tertiaire inférieur ; mais ne perdons pas de vue que, dans le S.-O., les recherches n'ont encore été dirigées que sur quelques points, et n'ont été faites que par un bien petit nombre de géologues, tandis que la surface incomparablement plus grande des terrains tertiaires du nord a été étudiée avec le

---

jamais applicables aux Alpes françaises, où les Nummulites se trouvent, au contraire, à la base du groupe, qui s'y divise bien aussi en trois étages, mais caractérisés tout différemment.

(1) Nous n'avons point compris dans ce nombre les fossiles du lambeau tertiaire de Saint-Pallais, près de Royan, rapporté par MM. Al. d'Orbigny et Delbos au groupe nummulitique, parce qu'il nous reste encore quelques doutes sur l'exactitude de ce rapprochement. Nos chiffres résultant de l'examen des fossiles que nous avons pu étudier nous-même directement ne comprennent pas non plus 17 espèces d'Échinodermes dont M. Delbos nous a remis la liste, et qui ont été décrites par M. Grateloup comme se trouvant dans la craie des Landes, couche qui, en réalité, appartiendrait au système nummulitique. Il en a été de même de 4 espèces dont le gisement est incertain. Nous avons dû nous abstenir d'autant plus de citer ces Échinodermes que plusieurs des espèces les plus caractéristiques de la formation crétacée se trouveraient remonter ainsi jusque dans le second étage nummulitique de M. Delbos. Il est donc indispensable de vérifier de nouveau l'identité de ces espèces ou bien leur véritable gisement.

plus grand soin depuis trente ans. Nous connaissons déjà 60 espèces de Polypiers dans les falaises de Biaritz, et les couches tertiaires du nord de la France, de la Belgique et de l'Angleterre ne nous en ont encore offert que 70 à 75. Dans l'un ni l'autre de ces bassins, ces Polypiers ne formaient de récifs; mais on doit reconnaître que dans celui de la Seine en particulier le développement de certains genres, tels entre autres que celui des Astrées, semble y indiquer des circonstances plus favorables qu'au S.-O., où toutes les espèces sont fort petites et annonceraient une température moins élevée. Les Nummulites présentent 3 ou 4 espèces communes; mais le nombre des espèces est de plus du double au S.-O., et les formes comme les dimensions en sont infiniment plus variées, sans que l'abondance des individus y soit moins extraordinaire. Les échinodermes ne nous offrent aucune espèce commune, et 1/3 même des genres ne se trouvent qu'au S.-O., où les espèces atteignent en général des dimensions beaucoup plus grandes. Les annélides, très variés dans le bassin de l'Adour, n'ont point non plus d'analogue dans le Nord. Les conchifères, dont nous avons constaté que 1/4 des espèces étaient communes, de même que les gastéropodes, se trouvent, par rapport à ces derniers, dans des rapports numériques inverses au N. et au S.; car, dans les deux arrondissements de Dax et de Bayonne, ils atteignent à peine la moitié du nombre des acéphales.

Mais si nous comparons, comme nous l'avons fait l'année dernière, la faune nummulitique des deux extrémités du versant N. des Pyrénées, nous verrons que les fossiles recueillis par MM. Pratt et Delbos viennent à l'appui des conclusions que nous avions déduites de l'examen de la collection de M. Thorent, et les rendent même encore plus frappantes. Ainsi il existe des différences zoologiques beaucoup plus grandes entre les couches nummulitiques des Corbières et de la montagne Noire, telles qu'elles ont été comprises et décrites par M. Leymerie, et celles des environs de Dax et de Bayonne, qu'entre ces dernières et la faune tertiaire du nord. Ce résultat nous fait présumer qu'il existait à cette époque, entre le plateau central et les Pyrénées dont une partie avait déjà un certain relief, et comme nous avons essayé de le démontrer pour les divers bassins secondaires et tertiaires du nord, qu'il existait, disons-nous, une banquette sous-marine ou un isthme étroit qui rendait incomplète ou interceptait même tout à fait la communication directe du bassin de l'O. avec celui de l'E., formant ainsi deux golfes profonds au lieu d'un détroit ou d'un bras de mer, comme cela peut avoir eu lieu plus tard. Cette barrière nous serait-elle encore indi-

quée sur le prolongement de la direction de la montagne Noire, par la ligne de partage sinueuse et largement arquée à l'O. des eaux qui se rendent à l'Océan et de celles qui se jettent plus directement dans la Méditerranée? C'est une question que des études ultérieures pourront peut-être résoudre, et sur laquelle nous appelons l'attention des géologues.

Liste des espèces nouvelles et déterminées de la collection de M. Pratt.

Cyclolites andianensis.
— *lenticularis.*
Turbinolia atalayensis.
— *subundata.*
Caryophyllia vertebrata.
Oculina compressa.
— *rugosa.*
Ceriopora intricata.
Heteropora subconcinna.
— *rugosa.*
Prattia glandulosa.
Hornera Edwardsii.
Idmonea trapezoides.
— *hybrida.*
Eschara puncta.
— *dentalina.*
Retepora subechinulata.
Flustra glomerata.
Tragos mamillatus.
Scyphia Samueli.
— *quinquelobata.*
Virgularia incerta.
Cidaris striato-granosa.
— *subcylindrica.*
— *sublævis* (1).
Serpula alata.
— *funiculosa.*
Astarte Prattii.
Cardium inscriptum.
Chama ante-scripta.
Mytilus subhillanus.
Pecten subtripartitus.
— *Gravesi.*
— *Michelotti.*
Spondylus subspinosus.
— *planicostatus.*
Ostrea æquivalvis.
— *longicauda.*
Scalaria subundosa.
Turbo calcar.
— *lapurdensis.*
— *biaritzensis.*
— *Buchii.*
Turritella inscripta.
Mitra scalarina.

Espèces nouvelles et déterminées de la collection de M. Delbos.

Lichenopora spongioides.
Nummulina granulosa.
— *mamillata.*
Lima trabayensis.
Pecten subopercularis.
Vulsella lingulæformis.
— *exogyra.*
— *dubia.*
Anomia intustriata.
Terebratula Delbosi.

Goniopygus pelagiensis (Saint-Palais).

---

(1) Nous n'avons point porté sur cette liste ni sur la suivante les espèces d'Échinodermes déjà mentionnées dans le catalogue de MM. Agassiz et Desor, mais qui n'ayant point encore été décrites ni figurées nulle part le seront dans notre Mémoire.

M. Boubée présente les observations suivantes sur ce que vient de dire M. d'Archiac :

Tant que l'on se bornera à discuter le terrain nummulitique par l'étude des fossiles, on ne sortira pas de la difficulté que soulève son classement; il faut de toute nécessité consulter aussi, et avant tout, les caractères minéralogiques et les relations géognostiques et minéralogiques. Et cela est si vrai, que, par ce moyen, on arrive tout d'abord à une distinction capitale qui me semble devoir dominer toute la question, et dominer même cet ingénieux et séduisant système de proportions et de relations numériques entre les espèces de divers étages et de diverses localités que M. d'Archiac vient d'établir avec son habileté ordinaire.

Cette distinction qu'il me semble si important d'introduire dans la question, c'est qu'une partie du terrain nummulitique est en couches soulevées, disloquées, fortement inclinées, et l'autre partie, au contraire, est en couches horizontales et tout à fait à l'état normal.

Par conséquent, une partie de ces roches à Nummulites est antérieure au soulèvement des Pyrénées, tandis que l'autre partie est postérieure à l'apparition de ces montagnes et par conséquent beaucoup plus moderne. Eh bien! que l'on étudie, que l'on compare chacun de ces groupes, et l'on va trouver encore d'autres caractères qui suffiront, je crois, pour fixer nettement leur place respective dans l'échelle des terrains et résoudre les difficultés qui, depuis longtemps déjà, tiennent en suspens l'opinion de plusieurs des membres de la Société géologique.

En effet, les couches *nummulitiques soulevées* et disloquées sont précisément les plus riches en Nummulites, celles où l'on ne trouve que peu ou point d'autres fossiles, mais où abondent ces grandes espèces que j'ai décrites, dans mon *Bulletin d'histoire naturelle de France*, 1833, sous les noms de *Nummulites mille caput*, *N. papyracea*, *N. crassa*, *N. plano-spira* et *N. lenticularis*. Ces couches offrent d'ailleurs tous les caractères minéralogiques des terrains crayeux, et paraissent, sous ce point de vue, se distinguer nettement des terrains tertiaires.

J'ajouterai que dans les Landes, les Basses-Pyrénées, les Hautes-Pyrénées et la Haute-Garonne, qui sont les seuls points où j'aie eu occasion de voir les terrains nummulitiques en question, le groupe de roches inclinées dont je parle est le plus développé et le plus puissant; c'est même le seul auquel, dans mon esprit, s'appliquait jusqu'ici le nom particulier de terrain nummulitique, dont les types

étaient pour moi une partie des environs de Bastennes (Landes), une partie du territoire de Mouguerre, à l'est de Bayonne, les environs de Gensac, près Boulogne (Haute-Garonne), etc. Sur tous ces points, j'ai toujours vu le terrain nummulitique en couches fortement inclinées reposant sur la craie à Ananchites et affectant les mêmes allures que le terrain crayeux proprement dit; aussi ai-je dû le rapporter à la période crayeuse et y voir, ainsi que j'ai eu occasion de le dire dans la séance du 15 mars dernier, le groupe qui devait remplir, dans le midi, cette lacune indiquée par M. Élie de Beaumont comme existant entre la craie de Paris et le terrain tertiaire, lacune que paraissent remplir, dans le nord, la craie de Maëstricht, et peut-être aussi le calcaire pisolitique de M. Charles d'Orbigny. Le fait qui me déterminait surtout dans ce classement, comme je l'ai dit aussi dans cette séance du 15 mars, c'est que le soulèvement des Pyrénées ayant été fixé par des observations et des considérations d'un ordre beaucoup plus élevé après la période crayeuse et avant l'époque tertiaire, il est évident que ces roches à Nummulites doivent appartenir à la première de ces périodes, puisqu'elles sont évidemment antérieures au soulèvement pyrénéen.

J'ai déjà fait remarquer que ce groupe, où abondent les Nummulites et particulièrement les grandes espèces, est très pauvre en fossiles de toute autre espèce; néanmoins il n'en est pas entièrement privé, et si parmi ces fossiles on a pu reconnaître quelques espèces du terrain tertiaire, il faut dire aussi qu'il y en a qui font évidemment partie de la formation crayeuse : tel est le *Pecten quinquecostatus*, qui est un des fossiles caractéristiques de la craie, et qui abonde à Gensac, parmi les grandes Nummulites, avec une belle Exogyre non encore décrite, mais que sa physionomie range incontestablement parmi les fossiles de la craie. Au reste, aucun géologue ne sera surpris que ce groupe *supérieur du terrain crayeux* contienne à la fois des fossiles tertiaires et crayeux, s'il est le chaînon qui doit combler la lacune indiquée et faire le passage des terrains crayeux au terrain tertiaire.

Quant aux roches à Nummulites qui sont en couches horizontales, elles forment, elles aussi, un groupe très naturel qui se distingue par beaucoup d'autres caractères de celui dont je viens de parler. Les types de ce groupe sont une partie des roches de Biaritz, cette épaisse couche rocheuse sur laquelle s'élève la cathédrale de Bayonne, ces hautes et belles falaises abruptes que l'on voit sur la rive droite de la Nive, en amont de Bayonne, etc. Sur tous ces points, on trouve ces roches horizontales et dans leur

état normal; les Nummulites y sont très nombreuses, mais ce sont en général de petites espèces mêlées de beaucoup de Lenticulines, de Rotalites et d'un grand nombre de Mollusques, Oursins et Polypiers, sur lesquels se fondent surtout les proportions ingénieusement établies par M. d'Archiac. Nulle part ces roches horizontales n'offrent le caractère minéralogique crayeux qui distingue à la première vue les roches du groupe précédent; elles ont au contraire tout le *facies* des calcaires grossiers grisâtres, et des molasses des terrains tertiaires. En un mot, on ne voit ni sur le terrain ni dans l'étude des fossiles aucune raison pour ne pas ranger ces roches dans le terrain tertiaire avec les calcaires nummulitiques du Soissonnais et des environs de Paris, et pour moi, je dois dire que ce n'est point là du tout ce que j'appelais le terrain nummulitique, parce que je ne voyais aucune raison d'en former un groupe distinct. Je n'appliquais cette désignation qu'aux roches particulièrement et essentiellement nummulitiques dont j'ai parlé en premier lieu, que j'avais rapportées d'abord, il est vrai, au terrain tertiaire, lorsque j'en décrivais les espèces dans le *Bulletin d'histoire naturelle*, à cause de cette prévention, déjà ancienne, en paléontologie, que les Nummulites sont des fossiles nécessairement tertiaires, mais que, depuis longtemps, je considère comme crétacés, par toutes les considérations que je viens de résumer tout à l'heure, opinion que j'ai déjà émise lors de notre réunion en Suisse, dans une discussion qui s'engagea sur ce sujet à Bâle, à l'une des séances de la Société helvétique.

M. Delbos répond encore en ces termes à la communication de M. d'Archiac :

La découverte du lambeau tertiaire situé au nord-ouest de Royan (anse de Terre-Nègre, près Saint-Palais, Charente-Inférieure) fait disparaître, dans les sondages artésiens pratiqués sur les deux rives de la Gironde, quelques anomalies que l'on ne savait comment expliquer. Ce lambeau se divise en effet en deux assises principales dont les caractères minéralogiques sont très différents : 1° à la partie supérieure, des alternances de sables grisâtres et de marnes mêlées de gravier, avec rognons ou *chailles* à couches concentriques d'un calcaire marneux jaunâtre; 2° des calcaires qui présentent tous les caractères minéralogiques de la craie sur laquelle ils reposent.

Les sables supérieurs ne renferment que des Huîtres (*O. flabellula*, d'après M. d'Archiac), des *Peignes* et des ossements de Cé-

tacés. Ils pourraient bien correspondre à des sables analogues qui forment la partie supérieure des terrains nummulitiques du bassin de l'Adour (1), et qui contiennent des Huîtres au moins très voisines des précédentes (*O. cyathula*, d'après M. d'Archiac).

J'ai recueilli dans les calcaires blancs inférieurs sept espèces d'Echinodermes, dont deux sont considérées par M. Desor comme identiques avec des espèces de Biaritz, décrites par M. d'Archiac (*Echinolampas subsimilis*, *Cœlopleurus Agassizii*).

Le sondage artésien pratiqué à Peujard (rive droite de la Dordogne, 18 mètres au-dessus des eaux d'étiage) a traversé les couches suivantes (2) :

1° Jusqu'à 43 mètres, série de bancs calcaires ;

2° De 43 à 44 mètres, sable fin un peu marneux ;

3° A 44 mètres, sable fin, verdâtre, à nodules durs, demi-compactes, de grosseur ovulaire, renfermant à l'intérieur du calcaire cristallin. Epaisseur, 20 mètres.

4° A 110 mètres, série de bancs calcaires;

5° A 133 mètres, sable rouge, ébouleux.

L'orifice des puits est ouvert dans la molasse, et les n°s 1, 2 et 3 se rapportent à cette formation. Le n° 3 particulièrement possède les mêmes caractères que les molasses à calcaire globaire que j'ai signalées aux environs de Castillon-sur-Dordogne (3). Le n° 4 pourrait alors correspondre au calcaire à Orbitolites de Blaye, et les sables rouges inférieurs représenteraient les sables de l'anse de Terre-Nègre. Nous aurions alors la série suivante, en allant de haut en bas : 1° molasses ; 2° calcaire à Orbitolites; 3° sables supérieurs des terrains nummulitiques.

De même, dans le forage de Béchevelle, ouvert dans le calcaire à Orbitolites même, la sonde a attaqué, à 48 mètres, des sables grisâtres à fragments d'Huîtres, qui correspondent aussi probablement à ceux de Saint-Palais (V. Mém. de M. Jouannet, *loco citato*).

M. d'Archiac répond qu'il ne conteste nullement la distinction que M. Boubée vient d'établir entre deux étages du sys-

---

(1) *Notice géol. sur le bassin de l'Adour* (*Bull. Soc. géol.*, 2e sér., t. IV, p. 712).

(2) Voyez le Mém. de M. Jouannet (*Act. Soc. linn. de Bordeaux*, 1830).

(3) *Recherches sur la formation d'eau douce*, etc. (*Mém. Soc. géol.*, 2e sér., t. II, p. 244).

tème nummulitique, dont l'un serait redressé et antérieur au soulèvement principal des Pyrénées, et dont l'autre, presque horizontal, serait postérieur à ce soulèvement; mais il fait remarquer que, bien pénétré de l'importance du caractère stratigraphique et de l'étude directe et détaillée du pays, il n'a préjugé dans sa communication ni la question d'âge ou de parallélisme des couches à nummulites des Pyrénées occidentales ni leur groupement en deux étages. Il a seulement considéré les fossiles d'abord en eux-mêmes, puis dans leur distribution géographique et stratigraphique locale, et enfin dans leurs rapports avec ceux des couches nummulitiques situées plus à l'Est, comme avec ceux des véritables terrains tertiaires du Nord. D'après cela la question purement géologique reste entière, et les données zoologiques quelles qu'elles soient devront nécessairement se plier à l'évidence des faits géologiquement constatés.

Quant aux deux espèces d'Échinodermes citées par M. Delbos comme se trouvant à la fois dans le lambeau de Saint-Palais et à Biaritz, M. d'Archiac ne les regarde pas comme identiques, mais comme constituant au contraire des variétés très distinctes dans l'une et l'autre localité. Cette circonstance jointe à l'absence de nummulites le confirme, du moins quant à présent, dans sa première opinion, que tout le dépôt de Saint-Palais peut appartenir au calcaire marin inférieur de Blaye et des environs de Panillac.

M. Rivière lit la note suivante :

Le tome IV du *Bulletin* (2e série, p. 468) contient la traduction d'un Mémoire de M. Th. Scheerer. Dans ce Mémoire, l'auteur présente comme nouvelle l'idée de faire rentrer l'eau dans la classe des corps isomorphes, et cherche à en tirer un parti avantageux, soit pour la spécification des minéraux, soit pour la formation des roches.

Je n'assistais pas à la séance dans laquelle M. Frapolli a lu la traduction du Mémoire dont il s'agit; il m'a donc fallu attendre que cette traduction fût imprimée pour connaître le contenu du Mémoire de M. Scheerer.

Pour le moment, je ne crois pas devoir entrer dans la discussion de ce Mémoire; je me bornerai à constater le fait suivant. Depuis

1835, j'ai pensé que, si l'on admettait la théorie de l'isomorphisme, l'eau pouvait être comprise dans le nombre des corps isomorphes, c'est-à-dire qu'elle pouvait remplacer d'autres bases à la manière des corps isomorphes les uns par rapport aux autres. A propos d'une nomenclature atomo-chimique des substances minérales, j'avais communiqué à M. Ampère mes idées sur ce sujet; et en 1838 j'écrivais mon Mémoire sur les amphiboles; mais ce n'est, il est vrai, qu'en 1844 que ce Mémoire a été publié dans le *Bulletin de la Société géologique* (2e série, vol. I, p. 528). On lit, page 532 : « Cette formule serait encore la traduction plus rigou- » reuse des nombres, si l'on regardait l'eau comme isomorphe de » la magnésie, de la chaux, etc.; car alors on aurait pour l'oxy- » gène des bases 17,39, au lieu de 16,69. »

J'ai cru alors devoir me borner à l'énoncé de l'idée de l'isomorphisme de l'eau, parce qu'il se présente des difficultés touchant la théorie de l'isomorphisme en général, lorsqu'on veut la regarder comme la traduction d'une loi naturelle, et non comme une interprétation spéculative mais heureuse pour la chimie et la minéralogie. D'un autre côté, on rencontre aussi des difficultés très sérieuses quand on veut préciser la manière d'être de l'eau et de ses éléments dans la constitution intime et naturelle des substances, soit à l'époque de la formation, soit après la formation des substances. Toutes ces questions sont loin d'être résolues et même sont loin d'offrir des éléments simples pour leurs solutions. Tels sont les motifs qui m'ont engagé à beaucoup de réserve dans l'indication d'une manière de voir, et à m'abstenir de développements dans un travail qui, avant tout, devait être caractérisé par l'exactitude. Néanmoins, j'ai discuté ces diverses questions, autant qu'il m'a été permis de le faire, dans un Mémoire relatif aux minéraux et aux roches, comme on le verra plus tard. D'ailleurs, tous les chimistes, notamment ceux qui font de la chimie organique, regarderont certainement comme ancienne l'idée de l'isomorphisme de l'eau; en sorte que cette idée appartient plutôt aux chimistes qu'à M. Scheerer et qu'à moi. Dans tous les cas, il est évident que ce géologue n'est venu qu'après moi énoncer l'hypothèse de l'isomorphisme de l'eau.

M. Frapolli répond à la note de M. Rivière :

En l'absence de M. Scheerer, qui ne pourra répondre que dans six ou huit mois, et ayant eu l'honneur de le présenter à la Société, ainsi que le Mémoire attaqué, je ne peux m'empêcher de

protester contre l'accusation de plagiat que la note du préopinant tend à établir à l'égard de la belle découverte du professeur de Christiania concernant l'*isomorphisme polymère*. Je ne trouve qu'un seul fait que M. Rivière puisse citer à l'appui de sa réclamation, et ce fait n'infirme en aucune manière la priorité des travaux de M. Scheerer. D'après le fragment cité dans sa note, M. Rivière, en 1844, dans un Mémoire où il s'agissait de tout autre chose, a dit qu'une certaine formule serait changée si on regardait l'eau comme isomorphe de la magnésie. Il s'est arrêté là; il n'a pas même donné le fait comme une hypothèse à laquelle il ait cru devoir s'arrêter. La question n'a pas avancé d'un seul pas, elle est restée là où l'avaient laissée ces chimistes éminents que M. Rivière lui-même reconnaît comme étant les seuls auxquels appartient l'idée originaire de l'isomorphisme de l'eau. M. Scheerer, dans son grand Mémoire inséré dans le volume LXVIII des *Annales de Poggendorff*, dont l'introduction au travail sur le granite n'est qu'un extrait très court, a prouvé le fait; il en a déterminé les lois et les proportions atomiques. Exclusivement chimiste, et relégué, comme il l'a été jusqu'à ces dernières années, au fond d'une usine éloignée de la Norvége, M. Scheerer n'a pu consulter que ses connaissances chimiques, et ce n'est que comme résultat d'un travail d'analyse exécuté sur des centaines de minéraux qu'il s'est hasardé à proposer des conclusions. Aussi les hommes les plus éminents de l'Allemagne, pays où le travail de M. Scheerer a paru pour la première fois, et ces mêmes chimistes auxquels M. Rivière fait allusion, les Berzélius, les Mitscherlich, les Rose, etc. etc., lui ont fait honneur de sa découverte.

M. Rivière assure qu'il avait l'intention de s'occuper plus tard de ce sujet..... Un autre a été plus heureux; il est arrivé le premier. C'est ce qui a lieu souvent dans la science.

M. Fournet annonce à M. le Président qu'il adressera bientôt un travail d'observations critiques sur la communication faite au nom de M. Scheerer; spécialement, qu'il combattra ses idées relativement à l'obsidienne. — Il rectifiera en même temps la position qu'on lui attribue gratuitement par rapport à M. Durocher.

M. de Collegno présente des observations sur l'île d'Elbe.

M. Boué adresse à la Société un essai sur la distribution géologique et géographique des minéraux, des minerais et

des roches sur le globe terrestre, avec des aperçus sur leur géogénie.

M. le baron d'Hombres-Firmas adresse une note sur la localité de Fressac, si riche en fossiles de l'étage inférieur du système oolithique, et qui offre au minéralogiste des filons intéressants de galène, de calamine et pyrites avec chaux fluatée, barytine, etc. Il y joint la description de deux térébratules qu'il considère comme nouvelles. La première, qu'il nomme *Terebratula minima*, n'atteint jamais plus de 3 à 4 millimètres de longueur; sa largeur est plus forte d'un quart, et sa hauteur est les deux cinquièmes de sa longueur. Elle présente trois plis, l'un médian, les deux autres divergeant régulièrement vers l'angle des arêtes latérales et cardinales. Le sinus de la valve dorsale correspond au premier, qui occupe près du tiers de la largeur totale. Elle offre deux à trois stries d'accroissement. La seconde, qu'il nomme *Leopoldina*, est presque exactement ronde, et sa hauteur est un peu moins de moitié des autres dimensions qui sont d'environ 8 millimètres dans les individus adultes, et qui offrent plusieurs stries d'accroissement. Le crochet est très peu saillant. Au milieu du natis est une rainure entre deux bourrelets terminés quelquefois par des plis très déliés, qui se prolongent jusqu'au front de la coquille. Sur la valve dorsale on remarque deux petites échancrures aux côtés du crochet.

M. d'Archiac fait observer que la *Terebratula minima* existe dans le Calvados.

M. Durocher adresse un Mémoire sur la cristallisation des roches granitiques.

Recherches sur la cristallisation des roches granitiques, par M. Durocher.

Le mémoire intéressant de M. Scheerer, dont la traduction a paru dernièrement dans le *Bulletin de la Société géologique* (1), a pour objet d'expliquer la manière dont s'est opérée la cristallisation des éléments du granite. Depuis longtemps je me suis occupé

(1) *Bull. de la Soc. géol.*, t. IV, p. 468, février 1847.

de ce phénomène, et j'ai tâché d'en donner une explication en avril 1845 (1). M. Scheerer admet les faits qui servent de base à mon explication, mais il la croit insuffisante et il a jugé nécessaire de faire intervenir un nouvel élément : néanmoins cet habile chimiste n'a pas envisagé ma manière de voir sous sa véritable face et l'objection qu'il lui a opposée ne me paraît pas tout à fait concluante.

Je vais commencer par rappeler les principaux points de la question et la solution que j'en ai proposée ; j'examinerai l'objection de M. Scheerer ; ensuite je discuterai l'hypothèse qu'il a émise, en m'appuyant sur des expériences qui me sont propres. Nous reconnaîtrons alors si la nouvelle théorie est plus en harmonie avec l'ensemble des faits, si elle en rend mieux compte.

Les éléments du granite ne paraissent pas avoir cristallisé dans l'ordre de leurs fusibilités relatives ; car la silice, qui est la partie la plus réfractaire, a formé comme un ciment pâteux au milieu duquel se sont développés les prismes de tourmaline, les lames de feldspath et d'amphibole, les feuillets micacés, les grenats dodécaédriques. Ce fait fondamental est l'une des principales objections que l'on ait opposées aux théories plutoniennes, et il a servi de point de départ à M. de Boucheporn (2) pour imaginer une origine autre que celle d'une fusion ignée.

M. Fournet a cherché à lever la difficulté en attribuant à la silice une surfusion très considérable, c'est-à-dire la propriété de se refroidir sans cesser d'être fluide jusqu'à une température beaucoup plus basse que le point où ce corps entre en fusion lorsqu'on en élève la température. Mais comme je l'ai déjà exposé (*Comptes-rendus de l'Académie*, t. XX, p. 1276) et comme le fait aussi remarquer M. Scheerer, la distance qui sépare les points de fusion du feldspath et du quartz est beaucoup trop grande pour que l'explication de M. Fournet soit suffisante : il faudrait supposer à la silice une surfusion de plus de mille degrés, tandis que jusqu'à présent les différences observées entre les degrés de température correspondant à la congélation et à la liquéfaction d'une même substance ne s'élèvent guère au-delà de 100.

J'ai donné une face différente à la question en montrant que ce n'est pas le quartz qui s'est refroidi sans se solidifier jusqu'à une température voisine du point de fusion du feldspath, mais bien

---

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XX, p. 1275, séance du 28 avril 1845.

(2) *Études sur l'histoire de la terre*, par M. F. de Boucheporn.

une masse semblable aux pétrosilex, c'est-à-dire à des substances qui sont un peu moins fusibles que le feldspath, sans toutefois en différer beaucoup. Cette masse contenait, à l'état de combinaison, de la silice, de l'alumine, des bases alcalines et terreuses, potasse, soude, quelquefois lithine, avec un peu de chaux, de magnésie, d'oxydes de fer et de manganèse, ainsi que des quantités très minimes d'acide fluorhydrique et souvent même d'acide borique. Lorsque cette masse, se refroidissant graduellement, a atteint une température qui probablement était voisine de 1500°, il s'est produit un départ, une séparation entre ses divers éléments; le magma s'est décomposé en feldspath, quartz et mica; alors a commencé l'acte de la cristallisation. Au moment du départ, si la température de la masse était peu éloignée du point de solidification des deux éléments les plus fusibles, du feldspath et du mica, leur solidification aura eu lieu d'autant plus vite qu'ils avaient plus de tendance à cristalliser; de façon que le feldspath ayant une tendance beaucoup plus forte que le quartz aura cristallisé auparavant. Il est important de remarquer que la solidification de la silice n'a pas lieu d'une manière instantanée, que ce corps se comporte comme les substances vitreuses et peut conserver assez longtemps l'état visqueux, surtout étant entouré d'une masse qui est elle-même très chaude.

J'ai signalé dans mon premier Mémoire sur ce sujet deux causes de changement de température qui ont dû agir successivement et dans des sens inverses : avant le départ des éléments, la silice se trouvait combinée avec d'autres silicates et formait une combinaison acide, analogue par exemple à celle de l'acide sulfurique avec un sulfate alcalin ; et, de même que cette dernière combinaison s'opère avec dégagement de chaleur, il est probable que l'acide silicique en s'unissant à un silicate alcalin et terreux doit produire de la chaleur; et inversement, lorsqu'il se sépare d'une combinaison de ce genre, il doit y avoir absorption de chaleur : ainsi, à l'instant où le quartz a été éliminé d'une combinaison granitique multiple, cette espèce de réduction a dû produire un abaissement de température, faible peut-être, mais qui néanmoins aura pu contribuer à accélérer la solidification des éléments qui avaient le plus de tendance à cristalliser. D'ailleurs au moment où le feldspath a pris une forme cristalline, son passage subit de l'état liquide à l'état solide a donné lieu à un dégagement de chaleur qui très probablement n'était pas insignifiant (la chaleur dégagée par la congélation de l'eau est de 75). Cette chaleur se sera communiquée à la masse environnante et par suite aura contribué à

maintenir le quartz dans un état de mollesse ou de viscosité suffisant pour qu'il ait pu prendre l'empreinte de la forme cristalline du feldspath.

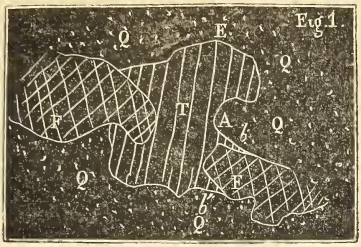
M. Scheerer reconnaît, comme je l'ai montré, que dans l'origine tous les éléments du granite étaient combinés dans une masse pétro-siliceuse, mais il a interprété un peu inexactement mon Mémoire en me faisant dire (t. IV du *Bulletin*, p. 486 et 487) « *que les* » *différentes combinaisons se sont séparées de cette masse homogène* » *l'une après l'autre dans l'ordre de leur puissance de cristallisa-* » *tion.* » M. Scheerer suppose ou plutôt me fait supposer que d'abord quelques cristaux de feldspath et de mica se sont séparés et qu'il est resté une masse de plus en plus riche en silice, et qui par suite devait avoir un point de fusion de plus en plus voisin de celui de la silice, et ainsi il ne se serait pas formé de quartz libre, mais un pétro-silex très riche en silice. Dans cette supposition l'objection de M. Scheerer serait parfaitement fondée, mais je n'ai dit nulle part dans mon Mémoire que les éléments du granite se sont séparés les uns après les autres; au contraire, j'ai toujours considéré *dans le granite proprement dit* le départ comme ayant été presque simultané pour tous les éléments, et je dis d'une manière précise (*Comptes-rendus*, t. XX, p. 1275) *que la solidification des divers éléments constitutifs de la roche a dû se faire à peu près en même temps*; c'est ce qui a dû avoir lieu dans la majeure partie des cas pour les granites proprement dits, mais pas toujours pour les porphyres, et dans ce dernier cas le phénomène a dû se produire à peu près comme l'expose M. Scheerer. Il est facile de concevoir une masse homogène se séparant en plusieurs combinaisons définies qui ne se solidifient pas à l'instant même où elles se séparent, mais très peu de temps après; immédiatement après le départ ce sont des corps fluides juxtaposés, tendant tous à se solidifier, mais à des degrés différents. Les choses ont dû se passer ainsi, car le feldspath, le quartz et le mica sont enchevêtrés les uns dans les autres, de façon que le quartz devait déjà être libre, être séparé du magma, quand le feldspath a cristallisé. Il y a une circonstance fort importante dont M. Scheerer a fait complétement abstraction, c'est la propriété (que possède la silice) de passer par l'état visqueux avant de se solidifier : comme le montrent les expériences de M. Gaudin, cette substance amenée en fusion et abandonnée à un refroidissement spontané reste visqueuse pendant quelque temps et peut même se filer, bien qu'étant exposée à une température beaucoup inférieure à son point de fusion. Toute la difficulté qui peut exister consisterait donc à savoir si, à

partir de l'instant du départ, la silice a pu rester assez longtemps visqueuse pour que le feldspath et le mica eussent le temps de cristalliser avant qu'elle fût devenue complétement roide. Je ne contesterai pas qu'il ait pu se produire des actions particulières qui aient prolongé la durée de la viscosité de la silice, peut-être des actions électriques, du genre de celles qui déterminent la liquéfaction d'un fil de platine à une température beaucoup plus basse que son point de fusion : on ne peut faire à cet égard que des conjectures, mais la partie essentielle du phénomène me paraît avoir eu lieu comme je l'ai exposé.

Il y a un point de la question sur lequel je dois insister, parce qu'il a une grande importance : l'examen que j'ai fait d'un grand nombre de granites de contrées fort diverses, soit sur les rochers eux-mêmes, soit dans les collections, m'a convaincu qu'en général il n'y a point eu de démarcations tout à fait tranchées entre les instants de cristallisation des divers éléments de ces roches. Je crois qu'en cela, M. Scheerer et moi, nous différons un peu d'avis. En effet, ce savant a cherché à classer les minéraux que l'on trouve dans le granite d'après l'ordre chronologique de leur cristallisation ; ainsi il dit (pag. 480) : « Que dans les filons granitiques de » l'île d'Hitteröé, en Norwége, la cristallisation s'est effectuée d'a- » près l'ordre suivant : 1° l'orthite et probablement presque en » même temps la gadolinite ; 2° le malacon et l'ytterspath ; 3° le » polyklase et le feldspath ; 4° le quartz. » M. Scheerer dit aussi (pag. 483) que l'achmite, le grenat, la tourmaline, etc., se sont solidifiés avant le feldspath, et celui-ci avant le quartz. D'après les observations que j'ai faites cet ordre de cristallisation serait accidentel ; il ne me paraît pas avoir un degré de généralité tel qu'on puisse en déduire des conséquences positives ; loin de là, je pense qu'au lieu de consister en une série de cristallisations successives, dans la plupart des granites, le phénomène a été caractérisé par la presque simultanéité des cristallisations ; c'est-à-dire que la gadolinite, la tourmaline, l'amphibole, etc., n'avaient pas achevé leur cristallisation quand le feldspath a commencé la sienne, et que déjà une partie du quartz avait commencé à se solidifier, était devenue un peu roide, quand le feldspath finissait de cristalliser.

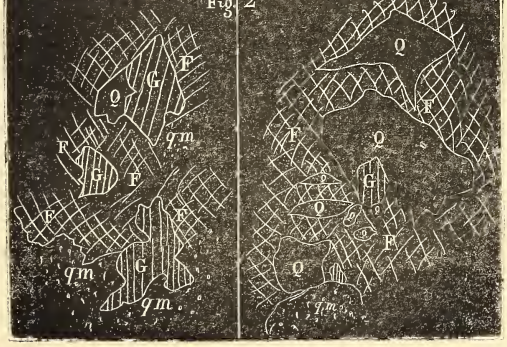
Déjà j'ai cité dans mon Mémoire présenté à l'Académie un granite à tourmaline de la vallée de Suc (Ariége), dans lequel on voit tantôt des cristaux de tourmaline ou de feldspath qui se sont formés au milieu du quartz, et ont marqué dessus leur empreinte ; tantôt, au contraire, ce sont des cristaux de quartz qui sont enveloppés d'une masse feldspathique. Ces empreintes réciproques se

montrent non seulement sur un même rocher, mais sur un même échantillon. On en voit un exemple dessiné fig. 1; il y a au centre



un noyau de tourmaline qui, à une de ses extrémités E, a marqué son empreinte sur la masse de quartz environnante, mais en son milieu le noyau a été comprimé, et en A le quartz a pénétré au milieu du cristal de tourmaline qui était en train de se former; de l'autre côté ce cristal a aussi été comprimé par du feldspath; en *b* et *b'*, au contact du quartz et du feldspath la tourmaline a lancé deux veinules très minces, ce qui montre qu'elle devait être encore en partie fluide lors de la solidification du feldspath et du quartz. Dans le même granite on voit des cristaux de grenats qui se sont formés tantôt au milieu du quartz, tantôt entre le feldspath et le quartz. L'examen de semblables échantillons montre que la solidification du grenat, de la tourmaline, du mica, du feldspath et du quartz ont dû se suivre de très près, et que les minéraux qui semblent avoir cristallisé les premiers possédaient encore en quelques parties un état de mollesse lorsque les autres éléments se sont solidifiés.

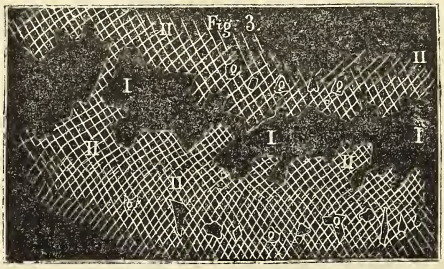
Je n'ai pas à ma disposition de ce granite d'Hitteröé qui a été observé par M. Scheerer, mais j'ai sous les yeux un granite à gadolinite de Brodbo, près Falun (Suède) : on y voit, comme je l'ai indiqué fig. 2, que si la gadolinite a cristallisé au milieu d'une



masse de quartz et d'albite, que si elle a marqué son empreinte sur ces deux minéraux, ceux-ci ont aussi pénétré dans la gadolinite, et ont interrompu la régularité de ses faces et de ses arêtes. On est forcé de conclure, ou bien que le quartz était déjà en partie solide au moment où la gadolinite et le feldspath ont cristallisé, ou bien que ces deux substances étaient encore un peu molles quand le quartz s'est solidifié. La résistance que le quartz a opposée au développement des autres éléments montre qu'à l'instant de leur cristallisation il était dans un état visqueux, intermédiaire entre l'état liquide et l'état solide.

La pénétration réciproque des éléments les uns dans les autres est un caractère propre aux roches granitiques, et quelquefois un même noyau a pris à une de ses extrémités l'empreinte de substances auxquelles il a communiqué la sienne à l'autre extrémité. Ce qui caractérise la structure dite granitoïde, c'est l'état de gêne, d'enchevêtrement, provenant de ce que les minéraux faisant partie du granite ont pris presque simultanément l'état solide; aucun d'eux ne forme de cristaux nets et parfaitement terminés, excepté lorsqu'il s'est trouvé un vide, une géode où la cristallisation a pu se développer à l'aise.

Quelques filons granitiques semblent déroger à cette loi d'enchevêtrement; ceux d'Hitteröe, par exemple, paraissent être dans ce cas. J'ai dessiné (fig. 3) près de l'usine à cobalt de Snarum, en



Norwége, un filon de pegmatite à gros grains où le quartz et le feldspath sont en majeure partie séparés d'une manière nette : la zone centrale est occupée par du quartz à peu près pur, et les portions latérales sont formées principalement d'orthose en très grands cristaux, dont on voit les pointements pénétrer au sein de la zone siliceuse. A l'intérieur du filon le quartz est hyalin non cristallisé, mais au milieu de la masse feldspathique on voit un grand nombre de cristaux de quartz qui ont eux-mêmes marqué leur

empreinte sur le feldspath. J'ai observé plusieurs exemples de ce genre en Scandinavie ; d'un autre côté M. Daubrée a signalé (1) des cas où le quartz se trouve concentré sur les bords des masses granitiques, tandis que les minéraux plus fusibles occupent la partie centrale, comme si la solidification des matières les plus réfractaires avait eu lieu d'abord sur les parois des fentes. On voit d'ailleurs beaucoup de filons granitiques, et c'est même le plus grand nombre, où les éléments sont mélangés et enchevêtrés ensemble comme dans les granites ordinaires : ainsi l'on a des exemples des trois cas possibles : 1° celui d'un mélange confus; 2° celui d'une concentration du quartz dans la partie centrale; 3° celui où le quartz se trouve principalement près des bords, le feldspath occupant la région médiane.

Pour expliquer la disposition de certains filons granitiques où la silice est nettement séparée des silicates lamelleux ou cristallisés, et paraît s'être solidifiée tout à fait en dernier lieu, il peut être nécessaire de recourir à des actions spéciales qui auront prolongé pendant longtemps la liquidité de la silice, ou qui auront déterminé les divers éléments à s'isoler et à cristalliser dans un ordre indépendant de leurs fusibilités. Mais cette intervention ne me paraît pas être indispensable dans la formation des granites les plus ordinaires, ceux où les trois éléments sont enchevêtrés les uns dans les autres.

M. Scheerer cite parmi les minéraux que l'on trouve cristallisés au milieu du granite, la pyrite de fer, la pyrite arsenicale et le cobalt gris : je ferai observer que ces substances ne s'y rencontrent qu'accidentellement. J'ai remarqué les deux dernières dans les mines de cobalt de Skutterud et de Snarum ; quant à la pyrite de fer, je l'ai observée dans plusieurs localités, mais c'est dans les mines de Foldal et alentour (Norwége), que j'ai vu les plus beaux et les plus gros cubes de pyrite de fer dans une roche syénitique. D'après les relations de ces gîtes métallifères, qu'il n'entre pas dans mon sujet de faire connaître ici, il est possible que la cristallisation de ces sulfures ou sulfarséniures ait eu lieu après coup par suite d'un phénomène de substitution analogue, mais non identique aux épigénies ordinaires : souvent, en effet, on trouve dans le même lieu les mêmes sulfures cristallisés dans des roches de natures diverses, qui ne paraissent pas avoir la même

(1) *Ann. des mines*, 4e série, t. IV, p. 221.

origine, et qui probablement n'ont pas été toutes à la fois dans un état de mollesse ou de fusion pâteuse.

J'ajouterai à la liste des minéraux qui paraissent avoir cristallisé dans le granite pendant sa solidification, et qui ont souvent marqué leur empreinte sur la silice et le feldspath, le fer oxidulé qui se rencontre fréquemment en noyaux octaèdriques lamelleux, dans le granite à gros grains de la Suède, et dans celui des environs d'Arendal en Norwége. Je citerai ensuite le fer titané, qui est très commun dans la syénite zirconienne de la Norwége méridionale, et aussi dans le porphyre rhombique. Ces roches contiennent quelquefois encore du fer oligiste : ces substances sont très réfractaires et même infusibles au chalumeau, il n'est pas étonnant qu'elles aient marqué leur empreinte sur le feldspath ; mais souvent aussi c'est le feldspath qui les a comprimées en cristallisant. On pourrait d'ailleurs citer beaucoup de substances bien moins fusibles que le feldspath, telles que le zircon, le corindon, la polymignite, la gadolinite, l'yttrolantate, etc., qui ont cristallisé au sein d'une masse feldspathique ; il faut donc se garder de croire que ce sont toujours les éléments les moins fusibles qui ont cristallisé les derniers.

Après avoir discuté l'objection principale que l'on ait opposée à l'origine pyrogénique du granite, je vais examiner les autres difficultés signalées par M. Scheerer. Il objecte d'abord l'existence du quartz dans le granite : « Jusqu'à présent, dit-il pag. 481, on n'a » pu encore réussir à obtenir par refroidissement lent d'un silicate » en fusion et saturé de silice, la mise en liberté de cette silice à » l'état de quartz. » Si cela tenait à ce que l'isolement de la silice exige un refroidissement lent, il devrait, suivant M. Scheerer, s'en produire dans les coulées épaisses de lave qui se refroidissent avec beaucoup de lenteur ; à la vérité M. Scheerer reconnaît lui-même que les laves des volcans actuels ne sont pas en général saturées de silice, et ne sont pas par conséquent dans les mêmes conditions de composition que les roches granitiques ; mais il ajoute que parmi les produits volcaniques il y a les obsidiennes et les ponces qui renferment près de 70 p. 100 de silice, et se rapprochent beaucoup de la composition générale des granites. C'est très exact, mais comme ces matières sont vitreuses ou scoriacées au lieu d'être cristallisées, les conditions de leur solidification étaient défavorables à la cristallisation, et il n'y a point à s'étonner qu'il ne s'y soit pas formé de silice libre, car elle n'a pu s'isoler qu'autant qu'il y a eu cristallisation plus ou moins développée.

Cependant parmi les produits volcaniques il en est qui contiennent de la silice libre, et qui répondent directement à l'objection de M. Scheerer, ce sont les trachytes dont on ne saurait contester l'origine volcanique; beaucoup de laves des volcans actuels sont en effet de la même nature que ces roches. Or, il y a certaines variétés de trachytes, celle du Siebengebirge, par exemple, qui renferment de la silice libre comme élément de la roche, quelquefois même sous forme de petits cristaux hexaèdriques. J'en ai observé aussi dans des trachytes de l'Auvergne, et dans une lave bulleuse qui paraissait être de nature trachytique, car il s'y trouvait de très petits cristaux de feldspath vitreux (1) : si le quartz est rare dans les roches pyrogènes de la période moderne, il n'y manque cependant pas d'une manière absolue. Il est à remarquer d'ailleurs que c'est à des laves trachytiques, c'est-à-dire à celles qui contiennent le plus de silice, que se rattachent les obsidiennes et les ponces qui en sont saturées.

Je ferai observer ici que les trachytes sont, parmi les roches volcaniques, celles qui se rapprochent le plus des granites : 1° par la présence de l'albite et du feldspath vitreux qui correspond à l'orthose, et cristallise dans le même système (ces trois feldspaths sont des trisilicates) (2); 2° par l'existence du quartz libre dans plusieurs variétés de trachytes; 3° par la présence fréquente de l'amphibole et presque constante du mica dans les trachytes et les granites. Le pyroxène augite forme pour ainsi dire le lien qui rattache les trachytes aux produits volcaniques. Mais, comme on le voit, sous le rapport de la composition chimique et minéralogique, il n'y a pas de séparation absolue entre les deux ordres de roches : la seule différence de composition consiste en ce que les trachytes sont généralement un peu moins riches en silice que les granites; ils contiennent une proportion un peu plus grande de soude, de chaux et de magnésie et un peu moins de potasse. Mais ces différences sont faibles, et l'on conçoit aisément qu'en Italie les trachytes passent aux granites, et les porphyres trachytiques aux porphyres quartzifères. Ces analogies de composition et ces passa-

---

(1) J'ai même vu dans un basalte de l'Auvergne un petit noyau de quartz bien caractérisé; mais on pourrait objecter qu'il s'est formé après coup, et non pendant la solidification de cette roche.

(2) L'orthose paraît même exister quelquefois dans les roches trachytiques.

ges sont à mes yeux un des arguments les plus puissants en faveur de l'origine ignée des granites.

Examinons maintenant la dernière objection de M. Scheerer, celle qui a pour objet la présence de minéraux pyrognomiques dans le granite; M. Scheerer désigne ainsi des substances qui, à une température dépassant à peine le rouge brun, produisent un dégagement de lumière et de chaleur, et éprouvent en même temps un changement notable dans leurs propriétés physiques et chimiques. Plusieurs gadolinites, orthites et allanites étant pyrognomes au plus haut degré, M. Scheerer demande comment ces minéraux, qui auraient dû rester soumis longtemps après leur solidification à une haute température, peuvent offrir aujourd'hui le caractère pyrognomique. Cette difficulté me semble très facile à lever, et M. Scheerer, qui est si familiarisé avec les phénomènes de la chimie et de la physique, comprendra sans peine que son objection n'est pas concluante. En effet, les minéraux pyrognomiques qui ont été calcinés ont éprouvé un déplacement moléculaire, une espèce de trempe : or, ne sait-on pas que beaucoup de substances minérales qui ont éprouvé un pareil changement, tendent à la longue à revenir à leur état primitif, à reprendre leur groupement moléculaire normal. Il y en a un grand nombre d'exemples : ainsi l'acide arsénieux obtenu par sublimation est vitreux, mais lorsqu'il est abandonné à lui-même il perd de sa transparence, de sa dureté, de sa densité; il devient d'un blanc laiteux, forme ce qu'on appelle l'*acide arsénieux opaque*, et acquiert ainsi un nouvel état qu'il conserve indéfiniment. Le soufre, lorsqu'il a été refroidi rapidement, ne prend-il pas aussi un état particulier qu'il tend à perdre au bout de quelques jours. Ainsi, non seulement il est possible, mais il est même probable, à en juger par analogie, que les minéraux pyrognomiques abandonnés à eux-mêmes pendant un temps plus ou moins long, et qui peut être d'un grand nombre d'années, reviennent à leur état primitif. D'ailleurs dans les conditions de lenteur où s'est opéré le refroidissement des roches granitiques, conditions complétement différentes de celles qui ont lieu dans des expériences de laboratoire, il n'y a aucune raison de croire que les gadolinites, orthites, etc., qui se sont refroidies très lentement, doivent offrir les mêmes propriétés, le même arrangement moléculaire que l'on observe dans les minéraux quand on les a calcinés et refroidis brusquement.

J'ai discuté toutes les objections présentées par M. Scheerer; il n'en est aucune qui me semble fournir des conclusions positivement

contraires à l'origine pyrogénique du granite ; néanmoins, je serais le premier à admettre la théorie qu'il a imaginée, si elle me paraissait plus en harmonie avec les faits, si elle en rendait mieux raison. Cette nouvelle théorie a pour principe l'intervention de l'eau dans la solidification des roches granitiques, mais les faits qui lui servent de base sont un peu vagues et manquent de précision : « Il est reconnu, dit M. Schecrer (pag. 489), que plusieurs » des éléments du granite contiennent de l'eau : le mica, la py- » rite, le talc, l'amphibole, la tourmaline, la gadolinite, l'or- » thite et l'allanite peuvent renfermer depuis des traces jusqu'à » 4 et 5 p. 100 d'eau combinée chimiquement. La chlorite, qui est » un élément accessoire de quelques protogynes, en contient jus- » qu'à 9 et 13 p. 100. » Je ferai d'abord observer que la plupart de ces minéraux ne se trouvent qu'accidentellement dans les granites : les éléments normaux qui constituent ces roches sont une ou habituellement deux espèces de feldspath (l'orthose et l'albite ou l'oligoclase), le quartz et le mica. Dans les deux espèces particulières de granites qui constituent la syénite et la protogyne, il y a, au lieu de mica, de l'amphibole ou du talc : l'amphibole ne contient habituellement que très peu d'eau, moins de 1 et demi p. 100 ; le mica en contient quelquefois un peu davantage de 0 à 3 et même 4 p. 100, et le talc en renferme presque toujours de 2 à 4 p. 100 ; mais le talc n'est pas très fréquent dans les granites, de même que la chlorite ; on sait en effet que les protogynes sont des roches peu répandues comparativement aux autres roches granitiques. Entre le mica il y a dans les granites un élément principal qui renferme habituellement une petite quantité d'eau, bien que cela n'ait pas encore été signalé ; je veux parler de l'élément feldspathique. J'ai essayé divers feldspaths, et j'y ai presque toujours trouvé quelques millièmes d'eau ; j'ai même été incertain de savoir si les feldspaths ne renferment pas tous un peu d'eau ; mais je n'en ai pas trouvé dans un feldspath chatoyant, transparent de Frédéricksvern que l'on avait pris pour du labrador, mais qui, d'après mes essais, est de l'orthose ; d'autres feldspaths en contiennent de 1 à 2 millièmes, et comme ceux qui en renferment plus de 2 millièmes sont habituellement un peu opalins, peut-être la présence de l'eau serait-elle l'indice d'un commencement d'altération, car à mesure que l'altération devient plus sensible, la quantité d'eau augmente rapidement. Quant au quartz des granites, je n'y ai pas trouvé plus de 1 à 1 et demi millième d'eau.

D'après les quantités d'eau que renferment les trois éléments

principaux des granites, et d'après les proportions dans lesquelles ils se trouvent généralement assemblés, savoir : 40 p. 100 de feldspath (orthose et albite ou oligoclase), 35 de quartz et 25 de mica, on peut prévoir *à priori* que la plupart des granites ne doivent contenir qu'une petite quantité d'eau, moins de 1 p. 100. Comme ce point fondamental sert de base à la nouvelle théorie, il est nécessaire de savoir positivement quelle quantité d'eau renferment les granites et les autres roches présumées plutoniques. M. Scheerer ne paraît pas avoir fait d'expériences directes sur ce sujet, car il n'en cite aucune dans son mémoire.

J'ai examiné en 1845, lorsque j'ai fait mon premier travail sur les granites, un certain nombre de roches et de minéraux ; depuis cette époque j'ai fait encore quelques autres expériences sur ce sujet, et les résultats que j'ai obtenus me paraissent avoir de l'importance pour la question actuelle. J'ai déterminé les quantités d'eau renfermées dans beaucoup de roches plutoniques et volcaniques, et j'ai recherché aussi dans quelle proportion l'eau se trouve distribuée entre les divers éléments des roches granitiques. J'ai réuni les principaux résultats dans le tableau qui termine ce mémoire. J'ai indiqué dans beaucoup de cas la quantité expulsée entre 15° et 110°, pour faire voir qu'il n'y a pas seulement de l'eau hygrométrique.

On voit en examinant ce tableau que la plupart des roches dites *pyrogènes*, renferment de l'eau qui ne peut être expulsée complétement que par une calcination au rouge sombre ; mais beaucoup de roches n'en renferment que de très faibles quantités, comprises entre 1 et demi et 4 à 5 millièmes. Les granites, les pétrosilex et les porphyres quartzifères qui n'ont subi aucune trace d'altération, où le feldspath a conservé tout son éclat et sa transparence, m'ont toujours présenté moins de 5 millièmes d'eau. Presque toujours les roches ont subi dans leur partie superficielle un commencement d'altération qui se manifeste par une diminution dans l'éclat et la transparence du feldspath ; lorsque l'altération est devenue un peu plus forte, la lamellosité de ce minéral devient moins nette ; les cassures sont moins brillantes, il devient laiteux et puis tout à fait opaque. En même temps le mica tend à se ternir, et souvent il passe du noir au vert sale ou au gris. Dans tous les cas, lorsque le granite renferme de l'eau, quelle qu'en soit l'origine, elle se trouve répartie entre le feldspath et le mica ; ce dernier élément en contient presque toujours beaucoup plus que le feldspath. Dans les granites et les porphyres qui sont un peu altérés, bien qu'étant encore solides

et non friables, la proportion d'eau peut s'élever jusqu'à 3 et même 4,70 p. 100. De même, dans les diorites en voie d'altération, la proportion d'eau augmente considérablement, et il en est probablement ainsi de presque toutes les roches silicatées. Relativement à l'introduction de cette eau, je pense que quand il y en a 3 ou 4 p. 100 au plus, elle est due en partie à un commencement de kaolinisation, c'est-à-dire à la disparition d'un peu de silice et d'alcali; mais les roches qui n'en contiennent pas plus de 1 à 1 et demi p. 100 me paraissent susceptibles d'absorber les premières parties d'eau sans se décomposer; des expériences que j'ai entreprises me démontreront plus tard si cette manière de voir est fondée.

Dans les roches autres que les granites il est plus difficile de reconnaître si elles sont altérées, vu qu'elles ont habituellement très peu ou même pas de translucidité, que leurs couleurs sont un peu foncées; cependant d'après leur degré de ténacité et leur aspect, on peut apprécier jusqu'à un certain point si elles sont altérées, et lorsqu'il s'y trouve des cristaux feldspathiques, on peut, d'après leur apparence, juger s'il y a eu altération, car elle se produit habituellement dans le feldspath comme dans le reste de la masse, et souvent plus encore dans le feldspath.

J'ai reconnu, comme on le voit dans le tableau, que des roches n'offrant pas de traces sensibles d'altération, peuvent contenir des quantités d'eau assez considérables; déjà dans un mémoire publié en 1841 sur les îles Feröe (1), j'ai montré que les roches de trapp de ces îles ainsi que celles de l'Islande, de l'Ecosse et de la chaussée des Géants en Irlande, renferment de 2 à 3 et 4 p. 100 d'eau; il y a quelques variétés de ces roches qui n'en contiennent que de 0 à 1 et demi p. 100. On voit qu'il y a aussi des quantités d'eau notables dans les porphyres pyroxéniques, les basaltes, les laves et la pierre ponce. Il m'a paru inutile de faire des essais sur les roches serpentineuses et sur les phonolites qui, comme on le sait depuis longtemps, renferment des quantités d'eau assez considérables. On voit que la présence de l'eau paraît être un fait plus général dans la classe des roches dites *volcaniques* ou *pseudo-volcaniques*, que dans les roches granitiques; néanmoins, toutes les roches volcaniques n'en renferment pas, ainsi certains trapps en sont à peu près dépourvus, il en est de même du basalte de Saint-Flour, et l'obsidienne en renferme généralement peu.

---

(1) *Ann. des mines*, 3e série, t. XIX, p. 547.

La faible quantité d'eau contenue dans les granites ordinaires (abstraction faite peut-être de quelques granites talqueux ou chloriteux), pourrait bien ne pas y avoir existé dès leur origine, mais provenir d'une réaction de l'eau contenue dans l'atmosphère, réaction analogue à celle qui paraît s'être exercée sur plusieurs masses de chaux sulfatées, et les avoir hydratées dans leurs parties supérieures, de même que l'oxygène atmosphérique a exercé son influence d'une manière très inégale sur les différentes roches contenant du fer à l'état de protoxyde, et les a en partie rubéfiées, formant des porphyres rouges dans la croûte extérieure des masses, au-dessous de laquelle les mêmes roches offrent une couleur verte. Il ne faut pas perdre de vue que nous n'avons encore pénétré qu'à une très petite profondeur dans l'écorce terrestre, que nous en avons attaqué seulement l'épiderme : les échantillons de feldspaths ou de granites sur lesquels nous expérimentons proviennent, soit de la surface, soit de carrières dont la profondeur atteint à peine 30 à 40 mètres ; mais l'action des agents atmosphériques s'est fait sentir en beaucoup de points jusqu'à une profondeur de plus de 100 mètres, comme le prouvent les parties du filon d'Huelgoët dans le Finistère qui ont été décomposées, changées en ocre et hydrosilicates avec argent natif, chloruré et chloro-bromuré.

Je me hâte d'ajouter, pour qu'on ne généralise pas trop ma pensée, que beaucoup de roches ignées, même anciennes, les serpentines, les diallagites, etc., me paraissent avoir renfermé de l'eau de combinaison dès leur origine, de même que beaucoup de trapps, de laves, etc. Quelques granites peuvent aussi avoir contenu de l'eau au moment de leur formation : la syénite zirconienne n'en renferme généralement pas aujourd'hui en quantité notable, ainsi que cela résulte de mes essais, mais en divers points elle peut en contenir, là par exemple, où la natrolite en fait partie. En un mot, mes expériences conduisent évidemment à cette conclusion que les granites ordinaires et les roches qui en dérivent ne renferment, pour la plupart, que de 0 à un demi p. 100 d'eau lorsqu'ils n'offrent pas de traces visibles d'altération, et la provenance de cette petite quantité d'eau est au moins incertaine : peut-être est-elle originaire, peut-être aussi est-elle le résultat d'une altération. Dans tous les cas la teneur en eau de la généralité des granites n'est pas de 1 p. 100, comme le suppose M. Scheerer, mais inférieure à un demi p. 100, et peut-être même à un quart p. 100 pour la plupart des granites tout-à-fait intacts.

Voyons maintenant si, même en admettant les prémisses de la

théorie, nous y trouverons une explication vraiment satisfaisante: admettons que tous les granites aient contenu dans l'origine quelques centièmes d'eau, ce qui n'est pas du tout démontré, comment cette eau aurait-t-elle pu les maintenir liquides à une température beaucoup inférieure à leur point de fusion, et qui, suivant M. Scheerer, n'atteignait même pas le rouge? « Il me paraît dé-
» montré, dit-il p. 492, que les atomes des matières solides déjà
» écartés les uns des autres par la simple chaleur, doivent l'être
» encore plus par la vapeur d'eau qui vient s'interposer entre eux
» sous une très haute pression, ce qui viendrait accélérer singu-
» lièrement le passage de toute la masse à l'état liquide. » Pour moi, je ne vois pas comment de l'eau interposée entre les particules des corps solides peut en opérer ou en faciliter la liquéfaction; je ne connais aucun exemple que l'on puisse citer à l'appui. M. Scheerer invoque la fonte des sels dans leur eau de cristallisation, mais je ne vois aucune assimilation possible entre cet exemple et ce qui a dû se passer dans les granites; en effet, les sels et les hydrates fondent dans leur eau de cristallisation à cause de leur solubilité dans cette eau, qui augmente généralement avec la température, et aussi à cause de leur affinité pour cette eau qui leur permet de la retenir jusqu'au degré de température suffisant pour que le sel se dissolve dans la quantité d'eau qu'il renferme. Or, quelle est la solubilité du quartz, du feldspath, du mica, de l'amphibole, etc., dans l'eau? quelle est leur affinité pour cette substance? Elles sont bien minimes, sinon tout à fait nulles : il me paraît donc très hasardé de prétendre que le pétrosilex ou le granite originaire, c'est-à-dire des magmas de silice, de feldspath et de mica, peuvent être liquéfiés beaucoup au-dessous de leur point de fusion habituel, lorsqu'ils sont accompagnés d'eau et soumis à une forte pression. Il ne faut pas se le dissimuler, c'est un phénomène de dissolution aidé, il est vrai, de la chaleur que M. Scheerer veut substituer à un phénomène de fusion; car la fonte des sels dans leur eau de cristallisation n'est autre chose qu'une simple dissolution : or, les sels qui possèdent cette propriété contiennent tous une quantité d'eau assez considérable; je ne connais pas de substance qui en soit douée, sans contenir plus de 10 p. 100 d'eau. Mais, M. Scheerer en convient lui-même, le granite n'a jamais pu contenir que quelques centièmes d'eau, sans quoi en la perdant il s'y serait produit des vides considérables, ce qui n'a pas lieu.

Pour s'éclairer dans des questions aussi épineuses, il est bon de comparer ce qui a eu lieu autrefois avec les phénomènes que nous

voyons se passer sous nos yeux. Dans la plupart des éruptions volcaniques actuelles il se dégage une grande quantité de vapeur d'eau, les laves doivent en contenir notablement au moment de leur sortie du cratère, et il s'en dégage de la vapeur même dix ans après qu'elles ont commencé à s épancher sous forme de coulées. L'existence de cette eau interposée dans la masse pâteuse sous une forte pression, nous est parfaitement indiquée par les nombreuses cavités, par la structure bulleuse de la plupart des laves; c'est seulement quand elles se sont tassées à l'état de repos, que les particules ont pu se serrer mutuellement; alors les vides produits par l'interposition de l'eau ont disparu en grande partie, mais presque jamais en totalité, et la lave est devenue plus ou moins compacte. Cependant on ne voit pas que la présence de l'eau dans les laves, en quantité pour le moins aussi grande que dans les granites, produise rien de semblable à ce que suppose M. Scheerer. Des expériences ont été faites sur la température des laves, principalement par H. Davy, mais on n'a pas remarqué, du moins à ma connaissance, que ces matières soient maintenues en fusion à une température plus basse, ou plus longtemps, ou dans des conditions autres que des scories de fourneau qui seraient composées de la même manière, mais privées d'eau. Or, je ne conçois pas pourquoi l'eau qui aurait pu abaisser si considérablement le point de fusion des granites n'en ferait pas autant pour les laves actuelles, surtout pour les laves trachytiques, les obsidiennes et les ponces qui ont une composition à peu près analogue.

Je ferai observer, d'ailleurs, qu'il semble peu en harmonie avec les principes de la chaleur centrale, de supposer qu'aux premières époques de la géologie, où l'écorce terrestre devait être beaucoup plus chaude que maintenant, de supposer que les roches granitiques se soient formées à une température bien plus basse que les laves actuelles qui, cependant, sont en général plus fusibles. Je vais ajouter quelques autres considérations qui rendent, à mon avis, peu probable l'intervention de l'eau telle qu'on la suppose dans la formation des granites : ce sont en effet de toutes les roches celles qui offrent l'état de cristallisation le plus développé. Si l'on fait abstraction de quelques variétés de pegmatites et de syénites, il est à noter que ce sont les granites qui présentent le moins de vides, qui ont la texture la plus serrée, la moins caverneuse. Dans les autres roches il y a habituellement ou de très petites cavités dans toute la masse, ou des géodes en partie creuses, en partie remplies de minéraux présentant une composition diffé-

rente de celle de l'enveloppe. Dans les granites, en général, on ne voit pas, comme dans les roches volcaniques, les trapps et les basaltes des cavités arrondies, bulliformes, annonçant l'interposition d'un gaz ou de la vapeur d'eau qui a exercé sa pression sur une masse pâteuse, et souvent est entrée en combinaison avec quelques uns des minéraux qui ont cristallisé à l'intérieur des vides au moment où la température s'est abaissée. Certaines zéolites, celles qui se trouvent dans des géodes entièrement fermées, pourraient bien avoir eu une origine analogue à celle que M. Scheerer attribue aux granites, c'est-à-dire que ces hydrosilicates auraient éprouvé une espèce de fusion aqueuse à une température inférieure au rouge, et en cristallisant ils auraient retenu en combinaison l'eau qui les accompagnait; pour rendre cette manière de voir très probable, il suffirait de montrer que sous l'influence de la chaleur et de la pression, les zéolites acquièrent une solubilité croissante avec la température. Certaines agathes, opales et quartz résinites ont peut-être aussi été formés d'une manière analogue; mais il faut faire attention que ces quartz sont en partie solubles dans une dissolution de potasse, tandis que le quartz des granites ne l'est pas du tout. J'ajouterai que cette origine d'une fusion aqueuse, sous l'influence de la pression et d'une température un peu élevée, quoique inférieure au rouge, ne paraît pas convenir à toutes les zéolites, car il y en a qui se trouvent dans des tufs contenant des débris organisés de végétaux et d'animaux, ou dans des fissures ou bien encore tapissant de grandes cavernes, et à la formation de ces zéolites ont dû probablement concourir des actions électro-chimiques et des phénomènes d'infiltration, de même que pour la production de la calcédoine qui forme souvent de très belles stalactites, comme je l'ai remarqué aux îles Féröe.

Pour en revenir aux roches granitiques, je ferai encore observer que l'on y trouve bien plus rarement des zéolites ou des hydrosilicates cristallisés que dans les roches volcaniques ou basaltiques. En résumé, ce qui rend difficile à admettre la théorie de M. Scheerer, c'est que : 1° la plupart des granites non altérés renferment seulement quelques millièmes d'eau, et que dans l'origine cette eau n'a pas pu s'y trouver dans une proportion supérieure à quelques centièmes; 2° c'est que les éléments du granite ne sont pas sensiblement solubles dans l'eau, et ont peu d'affinité pour elle; 3° l'eau de combinaison qui a pu s'y trouver est en quantité beaucoup trop minime pour avoir pu donner lieu à une fusion aqueuse; 4° le refroidissement des laves actuelles qui s'opère dans des conditions ana-

logues à celles qu'implique la théorie de M. Scheerer, n'offre cependant rien de semblable à ce qui aurait dû avoir lieu d'après lui; 5° les granites ordinaires ont une structure éminemment cristalline; ils présentent quelquefois des druses irrégulières, mais point de cavités bulliformes, et les hydrosilicates cristallisés y sont beaucoup moins communs que dans les roches dites *volcaniques*. Si les matières sur lesquelles M. Scheerer a raisonné eussent contenu 12 à 15 p. 100 d'eau de combinaison comme la serpentine, et si les éléments de ces roches eussent été notablement solubles dans l'eau, son argumentation m'eût paru plus facile à admettre, mais les granites sont dans des conditions tout à fait différentes; aussi, tout en reconnaissant que les faits exposés par M. Scheerer sont très intéressants pour la géologie, je ne puis les regarder comme concluants pour la question qui était à résoudre.

Je dois ajouter qu'il ne faut pas considérer sous un point de vue trop exclusif la cristallisation des minéraux que l'on trouve dans les roches granitiques; car la chimie nous offre beaucoup d'exemples de cristallisations d'une même substance obtenues par des voies différentes. Ce serait aller trop loin si l'on prétendait que partout où on trouve du feldspath, du quartz, du mica, de l'amphibole, etc., ils ont cristallisé par voie de fusion. Dans mon mémoire sur le métamorphisme, j'ai fait voir que beaucoup de minéraux silicatés ont pu se former et cristalliser sans entrer en fusion; ainsi j'ai cité des mâcles, du disthène, etc., qui sont infusibles au chalumeau, et qui cependant ont cristallisé au milieu de schistes fusibles, sans que ceux-ci soient entrés en fusion, car ils renferment encore des empreintes organiques bien conservées. Le feldspath a pu aussi cristalliser dans certaines veines, druses, rognons, ou bien dans des gneiss sans qu'il y ait eu ni fusion ignée, ni fusion aqueuse, mais par des phénomènes d'agrégation moléculaire, de la même manière qu'un corps solide peut changer de forme cristalline sans avoir besoin de passer par l'état liquide.

Conclusions déduites des expériences.

Ce tableau montre que presque toutes les roches *dites pyrogènes* contiennent de l'eau de combinaison qui ne se dégage qu'entre 100° et le rouge sombre; elles en renferment des proportions très différentes et variables entre certaines limites. Les granites ordinaires, ceux qui n'ont pas éprouvé d'altération apparente, en contiennent de 1 à 5 millièmes; mais dès qu'une roche de cette nature a com-

mencé à s'altérer, la quantité d'eau qui s'y trouve augmente rapidement et s'élève à 0,030 et 0,040 ; d'ailleurs, même dans les granites qui paraissent intacts, la partie feldspathique contient habituellement un peu d'eau, moins cependant que le mica. Les pétrosilex et les porphyres quartzifères renferment de l'eau comme les granites et d'autant plus qu'ils ont éprouvé une altération plus prononcée.

Dans les roches dioritiques non altérées il y a des proportions d'eau variant de 0,008 à 0,020 ; la plupart des roches de trapp en contiennent de 0,020 à 0,060. Dans les porphyres pyroxéniques, les basaltes et les trachytes, il y en a habituellement de 0,007 à 0,030 ; néanmoins certains basaltes, tels que celui de Saint-Flour n'en contiennent pas plus de 0,001. Dans les laves volcaniques j'en ai trouvé de 0,0045 à 0,0451.

Lorsque l'on recherche la quantité d'eau contenue dans les roches et que l'on opère par calcination, il faut avoir soin de reconnaître si elles ne renferment pas de carbonate calcaire, car on pourrait avoir alors une perte plus forte que celle produite par le dégagement de l'eau ; dans ce cas il convient de doser l'eau en l'arrêtant dans un tube à chlorure de calcium taré à l'avance.

J'ai reconnu l'existence du carbonate de chaux et de la dolomie dans beaucoup de roches pyrogènes où il est impossible d'en apercevoir à la loupe ; j'y suis parvenu en traitant plusieurs grammes de ces matières par l'acide acétique ; j'ai ainsi trouvé des quantités notables de dolomie, s'élevant à 0,0092 dans un granite de Stockholm (Suède) ; à 0,0050 dans une protogyne de la vallée de l'Agly (Pyrénées orientales) ; à 0,0043 dans un pétrosilex de Sala (Suède); à 0,0130 dans une euphotide de la Savoie ; à 0,0024 dans un basalte de Saint-Flour (Cantal) ; à 0,0062 dans une lave bulleuse et péridotifère d'Auvergne. Dans une syénite hypersthénique de Norvège, j'ai reconnu des traces de carbonate de magnésie, sans chaux et un trapp d'Écosse m'a fourni 0,0151 d'un carbonate double contenant 34 de chaux et 18 de magnésie. J'ai constaté la présence de 0,001 à 0,018 de carbonate calcaire pur ou peu magnésifère, invisible à la loupe, dans 25 échantillons de roches granitiques, amphiboliques, trappéennes, basaltiques, pyroxéniques, trachytiques et de laves de diverses contrées (1) : plus de la moitié des échantillons que j'ai essayés m'ont fourni du carbonate cal-

(1) Les échantillons que j'ai soumis à mes essais ne sont pas tous inscrits sur le tableau ci-dessus.

caire. Ainsi, indépendamment des silicates, les roches pyrogènes contiennent un peu d'eau et fort souvent de petites quantités de carbonates terreux qui paraissent en avoir fait partie dès l'origine et ne point résulter d'infiltrations; fréquemment aussi elles renferment, comme on le sait déjà, de petites quantités de phosphates, de chlorures, de fluorures, de sulfures et des sulfarséniures.

La propriété magnétique est beaucoup plus commune dans ces roches qu'on ne le croit en général; les granites seuls sont rarement magnétiques; mais sur 38 échantillons de diorites, trapps, basaltes, porphyres pyroxéniques, trachytes et laves que j'ai essayés, j'en ai trouvé quatre seulement qui fussent sans action sur l'aiguille aimantée. Le magnétisme de ces roches paraît dû en général à la présence d'une petite quantité de fer oxidulé et quelquefois de fer titané ou de pyrite magnétique.

D'ailleurs il est remarquable que presque toutes les roches cristallines, même celles qui ne sont pas magnétiques, cèdent un peu d'oxyde de fer à l'acide acétique bouillant; quand on les calcine, elles prennent presque constamment une teinte rougeâtre ou rosée. Cette rubéfaction paraît due, au moins dans beaucoup de cas, à une peroxidation du fer qui se trouve dans presque toutes les roches, partie à l'état de peroxyde, partie à l'état de protoxyde; la rubéfaction est en général moins prononcée à l'intérieur de la masse calcinée que dans les parties extérieures.

Je terminerai ce Mémoire en ajoutant que l'oligoclase, cette espèce feldspathique, qui a été observée d'abord dans les roches granitiques du nord de l'Europe, se trouve aussi, mais en moindre quantité, dans celles de la France; ainsi j'en ai reconnu des lames dans une syénite des Vosges et dans plusieurs granites des Alpes, des Pyrénées et de l'ouest de la France.

Légende de la figure 1.

Vue d'un fragment de pegmatite contenant du feldspath, du quartz et de la tourmaline (vallée de Suc, Ariège).

F feldspath, Q quartz, T tourmaline.
E portion de la tourmaline qui a marqué son empreinte sur le quartz.
b, *b'* veinules de tourmaline interposées entre le quartz et le feldspath.

Légende de la figure 2.

Vue d'un fragment de granite de Brodbo, près Falun (Suède), con-

tenant du feldspath albite, du quartz, du mica blanc et des noyaux prismatiques de gadolinite.

F feldspath albite, Q quartz, G gadolinite, *q m* mélange intime de quartz, de petits feuillets de mica blancs et d'un peu d'albite.

Légende de la figure 3.

Vue d'un filon granitique, dessinée près l'usine à cobalt de Snarum (Norvège).

F feldspath orthose pénétrant par des pointements à l'intérieur du filon.

Q quartz hyalin formant la partie centrale du filon et répandu sous forme de noyaux cristallins au milieu de la masse feldspathique.

ASSES et MILLES ROCHES.	NOMS DES LOCALITÉS.	NOMS DES ROCHES.	NATURE ET ASPECT DES ÉLÉMENTS DE LA ROCHE.	APPARENCE D'ALTÉRATION.	ROCHES magnétiques, M; non magnétiques, N.	ROCHES calcarifères, C; dolomitifères, D.	Eau expulsée entre 15° et 100°.	Eau expulsée entre 15° et le rouge sombre.	Eau contenue dans les éléments de la roche.
Granites et pegmatites.	Lanildut près Brest (Finistère).	Granite.	A grands cristaux d'orthose, enchassés dans une masse à grains moyens, feldspathiques, quartzeux et micacés.	Pas d'altération sensible.	N.	»	0	0,56	»
	Mézières (Ille-et-Vilaine).	Pegmatite.	A grandes lames d'orthose blanc avec quartz et quelques larges feuillets de mica vert.	Altération faible, feldspath laiteux.	N.	»	»	0,53	Orthose. . . 0,66
	Bécanne environs de Combourg (Ille-et-Vilaine).	Granite.	A grains moyens; les éléments s'y trouvent dans les proportions à peu normales { feldspath, 45 0/0 (1) quartz, 35 mica, 20 }	Idem.	N.	»	»	0,48	Feldspath. . 0,60 Quartz. . . . 0,10 Mica. 1,10
	Près Cherbourg (Manche).	Idem.	Très feldspathique et peu micacé, avec lames d'orthose et d'oligoclase.	Idem.	N.	C.	»	0,45	»
	Sjosa, près Nykoping (Suède).	Idem.	A grandes lames d'orthose et d'oligoclase, peu micacé.	Pas d'altération sensible.	Ma.	»	0	0,12	Oligoclase. . 0,20
	Brodbo, près Falun (Suède).	Idem.	Avec albite blanc, mica blanc et gadolinite noire.	Idem.	N.	»	0	0,16	Albite. . . . 0,15
	Stockholm (Suède).	Idem.	A petits grains, proportions normales.	Altération très faible, feldspath laiteux.	N.	D.	»	0,40	»
Syénites.	Fredericksvern (Norvége).	Syénite zirconienne.	A très grands éléments, contenant environ les 2/3 de feldspath, 1/3 d'amphibole et mica, très peu de quartz.	Pas d'altération sensible.	Ma.	C.	»	0,17	Orthose. . . 0,18 Amphibole et mica. . 0,15
	Idem.	Orthose chatoyant qui a été pris pour du labrador.	En masses lamelleuses dans la syénite zirconienne.	Idem.	N.	»	0	0,06	
	Vallée d'Ossau (Basses-Pyrénées).	Syénite.	A grains un peu gros, avec feldspath blanc, hornblende noire et un peu de mica verdâtre.	Feldspath blanc laiteux.	N.	»	»	0,44	
Protogynes.	Savoie.	Protogyne.	Contenant environ 50 0/0 de parties feldspathiques blanches, 35 de quartz et 18 à 20 de feuillets verts chloriteux et talqueux.	Idem.	N.	C.	»	0,43	
	Près Tarascon (Ariége).	Granite chloriteux.	Contenant environ 65 0/0 de parties feldspathiques blanches, 30 à 35 0/0 de chlorite, fort peu de quartz.	Idem.	N.	C.	»	0,35	
	Vallée de l'Agly (Pyrénées-Orientales).	Protogyne.	Contenant environ 45 0/0 de parties feldspathiques blanches et rosées, 30 0/0 de quartz et 25 de chlorite et talc.	Un peu altéré.	N.	D.	»	1,80	Feldspath. . 1,10 Chlorite et talc. . . . 5,24

	Près Quimper (Finistère).	Granite.	A grains moyens, [illegible] d'orthose enchassées dans une masse à grains moyens.	Altération très sensible.	N.	»	0,21	1,58	Feldspath.	1,31
									Mica.	3,01
Granites alt[illegible]	Paramé, près Saint-Malo (Ille-et-Vilaine).	Idem.	A petits grains, schistoïde, très micacé.	Idem.	»	»	0,20	1,79	Feldspath.	1,50
									Mica.	3,00
	Hédé (Ille-et-Vilaine).	Idem.	A petits grains, contenant environ 20 de feldspath, 20 de quartz et 60 de mica.	Idem.	»	»	»	4,70	Feldspath.	2,80
									Mica.	6,68
	Piezampail (Orne).	Idem.	A grains moyens, tenant à peu près d'égales quantités de feldspath, quartz et mica.	Idem.	»	»	»	3,20	Feldspath.	2,90
									Mica.	6,41
Pétrosilex.	Sala (Suède).	Pétrosilex.	Rosé, esquilleux, fortement translucide.	Non altéré.	N.	D.	»	0,05		
	Mt-Aventin (Hte Garonne).	Idem.	D'un gris clair, esquilleux, faiblement translucide.	Très peu altéré.	»	»	0,10	0,65	»	
	Lochgugut (Finistère).	Idem.	D'un gris verdâtre, faiblement translucide.	Un peu altéré.	»	»	0,16	2,41		
Porphyres granitiques ou eurite.	Danemora (Suède).	Porphyre.	Pétro-siliceux et quartzifère, d'un gris clair, translucide.	Pas d'altération sensible.	Ma.	C.	0	0,22		
	Vallée de Cauterel (Hautes-Pyrénées).	Idem.	Feldspathique et quartzifère.	Un peu altéré.	N.	»	»	0,76		
	Saint-Géréon (Loire-Infér.).	Idem.	Pétro-siliceux, compacte, d'un gris rougeâtre, non-translucide.	Il paraît un peu altéré, devenu rougeâtre et opaque.	N.	»	0,24	1,27		
	Environs de Poullaouen (Finistère).	Idem.	Granitique, à lames feldspathiques, noyaux quartzeux et feuillets micacés, entourés d'une pâte compacte.	Un peu altéré.	»	»	0,53	2,03		
	Idem.	Idem.	Mêmes caractères, il est détaché de la même masse, mais il a moins de ténacité.	Altération beaucoup plus marquée.	»	»	0,70	3,07		
	Environs de Drammen (Norvége).	Idem.	Porphyre rhombique, contenant beaucoup de grands cristaux rhombiques d'orthose.	Un peu altéré.	Ma.	C.	»	1,16	Orthose.	1,05
Diorites.	Environs de Dol (Ille-et-Vilaine).	Diorite.	A grains moyens feldspatiques et amphiboliques.	Pas d'altération sensible.	Ma.	C.	»	0,80		
	Environs de Saint-Malo (Ille-et-Vilaine).	Idem.	Idem, ayant peu de solidité.	Très sensiblement altéré.	Ma.	C.	0,67	5,51		
	Broons (Côtes-du-Nord).	Idem.	A petits grains feldspathiques et amphiboliques.	Non altéré.	Ma.	»	»	1,01		
	Skasvick, près Nykoping (Suède).	Idem.	A grains moyens, formé principalement d'amphibole avec mélange d'un peu de feldspath et de fer oxydulé.	Idem.	Ma.	»	»	1,95	»	
	Konsberg (Norvége).	Idem.	A petits grains de feldspath, hornblende et un peu de mica.	Idem.	Ma.	»	»	1,92		
	Lange, près Krageroe (Norvége).	Idem.	Très riche en amphibole.	Idem.	Ma.	C.	»	0,85		

(1) J'ai désigné par l'expression de *feldspath* et *feldspathique* en général toutes les substances se rattachant au groupe des feldspaths.

LASSES et AMILLES ROCHES.	NOMS DES LOCALITÉS.	NOMS DES ROCHES.	NATURE ET ASPECT DES ÉLÉMENTS DE LA ROCHE.	APPARENCE D'ALTÉRATION.	ROCHES magnétiques, M; non magnétiques, N.	ROCHES calcarifères, C; dolomitifères, D.	Eau expulsée entre 150 et 1000.	Eau expulsée entre 150 et le rouge sombre.	Eau contenue dans les éléments de la roche.
et pyroxéniques,									
Ophites.	Environs de Saint-Béat (Haute-Garonne).	Ophite.	A grains un peu gros, contenant environ 55 0/0 d'amphibole, 40 de feldspath et 5 d'épidote.	Idem.	Ma.	»	»	1,05	Amphibole.. 1,56
	Vicdessos (Ariège).	Idem.	Masse amphibolique avec quelques grains blancs feldspatiques; cette ophite contient environ 40 0/0 d'épidote.	Idem.	Ma.	C.	»	0,43	Épidote. . . 0,27
Roches diallagiques et hypersthéniques.	Savoie..	Euphotide.	A larges lames de diallage vert, accompagnées d'une masse feldspathique, blanchâtre, opaque.	Idem.	N.	D.	»	2,07	»
	Hitteroe (Norvége).	Syénite hypersthénique..	A gros grains, avec labrador, hypersthène brun, avec un peu de mica noir et de fer titané.	Paraît fort peu altéré.	Ma.	»	»	0,66	
Trapps.	Iles Feroe..	Trapps hydratés. . .	Verdâtre, lamelleux.	Non altérés. . .	Ma.	C.	»	de 2,00 à 3,50	
		Trapps peu hydratés.	Porphyriques, contenant des cristaux de labrador. .	Idem.	Ma.	C.	»	de 0,10 à 0,50	
	Islande.	Trapps.	A grandes lames.	Idem.	Ma.	C.	»	4,15	»
			A petites lames.	Idem.	Ma.	C.	»	2,10	
	Dudley (Straffordshire). . .	Idem.	Verdâtre, lamelleux.	Idem.	Ma.	C.	»	3,00	
	Staffa (Écosse).	Idem.	Noir verdâtre, à petites lames.	Idem.	Ma.	C.	»	4,15	
	Écosse.	Idem.	Lamelleux, noirâtre, avec lamelles de labrador. . .	Idem.	Ma.	D.	»	5,93	
	Chaussée des Géants (Irlande)	Idem.	Verdâtre, à petites lames..	Idem.	Ma.	C.	»	3,23	
Porphyres pyroxéniques ou basaltes.	Helmestrand (Norvége). . .	Porphyre pyroxénique.	A pâte noire, avec cristaux d'augite noir.	Non altéré. . .	Ma.	»	»	2,60	
	Idem.	Idem.	Idem.	Paraît un peu altéré.	Ma.	C.	»	1,53	Augite. . . . 0,73
	Auvergne.	Idem.	Idem..	Non altéré. . .	Ma.	»	»	0,80	
	Saint-Flour (Cantal). . . .	Basalte.	Noir, à grains très fins.	Idem.	Ma.	D.	»	0,09	
	Saxe.	Idem.	Noir, contenant beaucoup de cristaux de péridot. . .	Idem.	Ma.	C.	»	1,87	

Trachytes.	Auvergne.	Trachyte.	Porphyrique, avec feldspath vitreux, mica noir et pyroxène noir.	Idem.	Ma.	C.	0,11	0,70	»
	»	Domite (d'après Berthier (2)).	C'est une variété de trachyte.	. . . . »	»	»	»	2,00	
Perlites.	Telkebanya (Hongrie). . .	Perlite (d'après Klaproth.	Substance vitreuse, à structure testacée, paraissant se rattacher au trachyte.	. . . . »	»	»	»	4,50	»
	Mexique.	Perlite (d'après Vauquelin.	Idem.	. . . . »	»	»	»	4,00	
Phonolites.	Sanadoire (Auvergne). . .	Phonolite (d'après Bergman).	En masses compactes.	. . . . »	»	»	»	2,00	»
	Donnersberg.	Phonolite (d'après Klaproth.	Idem.	. . . . »	»	»	»	3,00	
Laves.	Auvergne.	Lave.	Très bulleuse, d'un rouge violacé, avec grains feldspathiques et pyroxéniques.	Très dure, peut-être s'est-elle rubéfiée depuis qu'elle a coulé.	Ma.	»	1,10	4,51	»
	Idem.	Autre lave.	Scoriacée, avec grains pyroxéniques.	Non altérée. . .	Ma.	C.	»	1,54	
	Idem.	Autre lave.	Bulleuse, péridotifère.	Idem.	Ma.	D.	»	1,41	
	Vésuve (Italie).	Lave.	Porphyrique, avec cristaux de pyroxène d'un vert clair.	Idem.	Ma.	C.	»	0,76	
	Idem.	Autre lave.	Lave compacte.	. . . . »	Ma.	»	»	0,45	
	Hécla (Islande).	Lave.	Très poreuse, scoriacée.	Idem.	Ma.	»	»	0,85	
Obsidiennes.	Cantal (Auvergne).	Lave vitreuse (d'après Berthier).	Analogue à l'obsidienne.	. . . . »	»	»	»	7,10	»
	Localité inconnue.	Obsidienne.	Noire, vitreuse.	Idem.	N.	»	0	0,41	
Ponces.	Idem.	Ponce.	Blanche, fibreuse.	Idem.	N.	»	0,10	4,80	
	Idem.	Ponce (d'après Berthier).	. . . . .	. . . . »	»	»	»	3,00	»
	Idem.	Ponce (d'après Brandes.	. . . . .	. . . . »	»	»	»	7,00	

) J'ai inscrit les noms des chimistes auxquels j'ai emprunté les résultats publiés par eux concernant la teneur en eau de huit substances; toutes les autres expériences ont été faites moi.

M. Desor adresse à M. le secrétaire pour l'étranger la note suivante :

A bord de *la Sylvie*, de Grasse, le 11 mai 1847.

Notre traversée m'a fourni l'occasion de faire quelques observations sur les différentes espèces de glaces flottantes que les marins désignent sous les noms de *ice-bergs* et *floating-ice* ou *drift-ice*. Nous aperçûmes les premiers *ice-bergs*, le 16 mars, par 46°,30 lat. et 51° long. O. de Paris. Leur présence à pareille époque dans ces parages nous surprit fort; car d'ordinaire ils ne se montrent pas avant le mois de mai. Dans le nombre il y en avait d'énormes, bien que le capitaine m'assurât qu'ils n'étaient rien en comparaison de ceux qu'on voit en été. J'en remarquai quelques uns qui avaient près de 60 mètres de longueur et 25 de hauteur; mais la plupart n'avaient que 15 à 20 mètres de long, et s'élevaient de 8 à 10 mètres au-dessus de l'eau. Les plus grands avaient des formes anguleuses et massives; les petits, au contraire, étaient rongés et façonnés de la manière la plus bizarre. On aurait dit des aiguilles flottantes de glacier. Leur teinte était d'un azur mat tirant au vert. Un seul de ces glaçons passa assez près de nous pour me permettre d'en observer la structure. J'y reconnus distinctement une disposition par couches ou bandes parallèles, les unes étant d'une couleur sale et mate, les autres d'une teinte transparente. Cette disposition, jointe à la grande épaisseur des blocs, est une nouvelle preuve que ces glaces flottantes ne sont pas formées sur des fleuves, mais que ce sont des débris des glaciers polaires (1). La température de la mer était de + 2°, l'air était de + 0°,2.

J'ai observé attentivement l'allure de ces glaces flottantes, et j'ai vu que leur direction n'est pas constante, mais qu'elles se balancent en tous sens, tournant tantôt à droite, tantôt à gauche, suivant le mouvement de la vague. Par conséquent, si elles étaient tapissées de sable et de gravier à leur face inférieure, et qu'en passant sur des bas-fonds ce gravier traçât des stries sur la roche solide, ces stries ne seraient pas bien constantes, mais elles présenteraient toutes sortes de courbures et d'ondulations correspondant aux mouvements des glaces flottantes. Cette considération n'est pas

(1) Les marins connaissent cette disposition par couches parallèles; mais ils l'expliquent d'une manière erronée, en prétendant qu'elle est due au mélange de glace d'eau douce avec la glace d'eau de mer.

sans importance pour l'étude du phénomène erratique ; car, s'il était vrai que des glaces flottantes eussent jamais produit des sulcatures, (ce dont je doute, pour ma part,) ce ne pourrait être que des sulcatures irrégulières et onduleuses, et l'on ne saurait en aucune façon leur attribuer ces sillons réguliers et rectilignes qui se trouvent à la surface du sol, dans un grand nombre de localités, surtout en Scandinavie.

Le 20 mars, par lat. 42° et long. 49° O. de Greenwich, et en approchant du banc de Terre-Neuve, nous avons rencontré d'autres glaces, non plus des *ice-bergs* mais des *ice-fields*. Ce sont des glaçons en tout point semblables à ceux que la Seine charriait le mois dernier, avec ces mêmes rebords saillants dont nous avons observé la formation du haut de vos fenêtres, et qui proviennent du choc des fragments les uns contre les autres. Leurs dimensions n'étaient pas très considérables; ils étaient même, en somme, plus petits que ceux de la Seine; les plus grands n'avaient pas plus de 4 ou 5 pieds, et leur épaisseur ne dépassait pas 1 pied. La mer en était couverte sur une étendue de plusieurs lieues; ils étaient groupés par grandes bandes, au milieu desquelles se trouvaient des espaces qui en étaient dégarnis et où la mer était plus calme qu'ailleurs. Je mesurai à plusieurs reprises la température de la mer, et le 20 mars je la trouvai :

A 7 h. du matin, aux abords des premiers glaçons.	— 1,5 C.	Temp. de l'air, — 1°
A 8 h. au milieu d'une bande de glaçons.	— 2,5	
— Dans un espace libre, mais entouré de bandes de glaçons.	— 2	
A midi, après avoir perdu de vue les glaces.	— 2	Air — 2°
A 6 1/2 h. du soir..	— 1	

A mesure que nous nous éloignions du banc de Terre-Neuve la température de la mer augmenta. Le lendemain, 21 mars, par 42°,54 lat. et 57°,46 long., je trouvais déjà :

A 8 1/2 h.	Air	— 1°,8	A 1 h.	Air	— 1°,5
	Mer	0		Mer	+ 1

Quelle est l'origine de cette glace? Mon opinion était que c'est de la glace de rivière, car elle a la même apparence et la même structure que la glace d'eau ordinaire, comme je m'en suis assuré en en examinant attentivement plusieurs fragments. Or, comme

ces glaces se trouvent dans le prolongement S.-E. de l'embouchure du Saint-Laurent, il me paraît tout naturel qu'elles aient été poussées jusqu'ici par les vents du N.-O., qui sont très fréquents à cette saison. Mais telle n'est pas l'opinion de notre capitaine, M. Rich. Il pense que c'est de la *glace de mer*, formée, sous la forme de *grundeis*, sur le banc de Terre-Neuve, où, la mer étant peu profonde, l'eau se refroidit plus qu'au large, témoin mes propres observations, qui indiquent une température de — 2° et — 2°,5 (1). Il m'objecte en outre que les rivières qui auraient pu fournir cette glace ne sont pas encore ouvertes. D'ailleurs, le fussent-elles, la quantité de glace que nous avons vue est trop considérable pour qu'on puisse lui attribuer cette origine. Il faut convenir qu'il y a bien là quelque difficulté et que la question n'est pas encore entièrement résolue.

Réponse de M. Frapolli à la lettre écrite d'Amérique par M. Desor.

Je suis heureux de pouvoir témoigner le plaisir que j'éprouve en entendant les belles observations que M. Desor vient de faire dans sa traversée sur les glaces flottantes, et surtout cette distinction entre les glaces qui proviennent des glaciers polaires et celles qui se forment dans les fleuves ou bien au fond de la mer, sous forme de *grundeis*. C'est là un fait qui est complétement d'accord avec l'idée que je m'étais faite de tout cela quand j'étais dans le Nord, et sur lequel M. Forchhammer revient dans une lettre remplie d'observations intéressantes, et que j'aurai l'honneur de communiquer à la Société dans la séance prochaine. Je prendrai seulement la liberté de faire observer que les objections renfermées dans la lettre de M. Desor contre la théorie des glaces flottantes ne sauraient avoir le poids qu'il leur attribue, car le mouvement des vagues au milieu d'une vaste et profonde mer ne ressemble aucunement, il s'en faut de beaucoup, à leur action sur les côtes; et que d'ailleurs c'est précisément cette marche incertaine des stries, cette divergence, qui est en rapport constant avec les contours des côtes, ces courbures et les ondulations que les stries présentent dans certains cas, qui s'opposent sans retour à ce que nous puissions admettre sur le sol ondulé de la Scandinavie la formation des stries par les courants géologiques, la seule, parmi les explications données jusqu'à présent, qui ne soit pas en contradiction avec

(1) C'est aussi l'opinion des naturalistes de Boston.

tout le reste de la science. C'est précisément cette variabilité dans la disposition des stries que nous nous étonnons qui ait échappé à bon nombre de voyageurs. C'est cette divergence apparemment déréglée des stries autour des plateaux scandinaves, qui est venue jeter dans l'esprit de M. Durocher le doute à l'égard des idées de Sefström, et qui lui faisait admettre la nécessité d'un nouveau voyage afin de pouvoir en tirer une théorie conforme à la multiplicité des faits (séance du 2 novembre 1846). Pourquoi tant de théories divergentes? Cela dépend toujours du même défaut, défaut que de Saussure reprochait aux naturalistes de son temps, c'est que la plupart des voyageurs n'ont vu le phénomène qu'au microscope. M. Sefström a vu que, dans la Dalécarlie et dans les environs de Stockholm, les stries couraient moyennement du nord au sud, et il a songé à son courant polaire; il ne s'est pas embarrassé de ce qui avait lieu sur les côtes de la Norvége ou de la Laponie. D'autres naturalistes ont vu le parallélisme des stries aussi loin que la portée de leur vue, et ils ont cru qu'elles étaient partout parallèles. D'autres, ayant remarqué que les stries changeaient suivant les côtes, et n'ayant égard qu'à leur pays, ont dit qu'elles étaient l'effet de l'eau. D'autres observateurs, enfin, ont étudié un glacier des Alpes, quelques vallées des Alpes où les glaciers se sont étendus autrefois, quelques moraines ayant plusieurs centaines de pieds de dimension, et ils en ont déduit un vaste linceul qui aurait enveloppé de sa couleur blafarde le globe terrestre pendant des milliers d'années; ils ont pris les immenses dépôts meubles des plaines de l'Europe septentrionale et en ont fait un pêle-mêle de moraines glacières. Et c'est après cela qu'on a pu dire qu'ils s'étaient tenus aux conclusions rigoureuses fournies par une sage et prudente marche du connu à l'inconnu!

M. Ed. Collomb adresse à M. le secrétaire pour l'étranger la lettre suivante *sur les neiges des Vosges:*

Wesserling, 5 mai 1847.

J'ai déjà fait plusieurs courses sur nos montagnes; le névé couvre tous nos sommets avec une persistance telle, que les anciens du pays ne se rappellent pas l'avoir vu aussi bas, à cette époque de l'année, depuis 1816. Dimanche dernier, par conséquent le 2 mai, j'ai pu juger, du sommet du Hoheneck, de la masse considérable de neige qui couvre encore toute la chaîne. Sur tous les versants N. elle se maintient à un niveau moyen

de 850 à 900 mètres; sur les versants E., à 950 — 1,000 mètres, et sur les versants S. et O., elle est à peu près à 1,000 mètres.

Vue à grande distance, la ligne des neiges décrit une droite horizontale; mais cette ligne, prise, par exemple, sur les flancs d'une vallée de 10 à 12 kilomètres de longueur, s'écarte de l'horizontale; elle plonge de plusieurs degrés vers le centre de la chaîne. La zone neigeuse est, par conséquent, plus large sur le Hoheneck et le Rothenbach, qui sont des montagnes centrales, que sur les ballons, qui sont placés aux extrémités du système, et qui sont cependant plus élevés d'un centaine de mètres. Le Hoheneck, pris comme centre, est une espèce de *pôle neigeux* où sont venues se condenser les plus grandes masses.

Si on les examine de plus près, on remarque que ces neiges sont, de préférence, accumulées en grande masse sur toutes les pentes du revers oriental; partout où un col se présente, la neige surplombe et forme corniche, exactement comme vous avez pu le remarquer l'été dernier sur les crêtes dentelées qui bordent le glacier de l'Aar.

Le surplomb est quelquefois porté à la distance de plusieurs mètres, et de longs glaçons pendent sous cette voûte de neige et font l'effet de gros tuyaux d'orgues. A la distance de 5 ou 6 mètres du bord de la corniche, il y a fréquemment une fente longitudinale de 8 à 10 centimètres de largeur; cette crevasse se prolonge dans toute l'épaisseur de la masse, ce dont on peut s'assurer, parce que sur certains points la corniche de neige s'est détachée et a formé le noyau d'une avalanche. On peut alors voir la tranche dans toute son épaisseur; sa partie inférieure est transformée en glace bulleuse d'une épaisseur qui varie beaucoup, mais qu'on peut porter, en moyenne, de 30 à 40 centimètres. Pour ce dernier fait, il faut tenir compte de l'époque de l'année où l'observation a lieu. Aux mois de février et de mars derniers, j'ai fait plusieurs observations analogues sur nos sommets et nos cols élevés, et je n'ai pas remarqué l'existence de cette couche de glace bulleuse; les neiges étaient, à cette époque, transformées en névé, mais la glace bulleuse n'existait pas encore.

Les avalanches ont été fréquentes cet hiver dans nos montagnes; j'en ai traversé quatre dimanche dernier au fond de Wildenstein; elles sont descendues du sommet du Rheinkopf (1,319 mètres), en ravageant un peu les forêts inférieures, sans toutefois avoir eu la force suffisante pour détruire les arbres de plus de 20 centimètres de diamètre. Mais sur le revers opposé de ce même Rheinkopf, dans la vallée de Munster, elles ont eu une force des-

tructive beaucoup plus considérable. Une de ces avalanches entre autres, tombée dans le courant du mois de janvier, a enlevé une bande représentant une surface de plusieurs hectares de forêt de sapins et de hêtres. Le sol est complétement rasé, mis à nu : pas un arbre n'est resté debout sur toute la ligne du trajet parcouru, et il y en avait dans le nombre d'un assez fort calibre, ce qui donne à augurer que l'avalanche était animée d'une assez grande vitesse au moment de sa chute. Si elle était descendue avec lenteur, comme je l'ai remarqué ailleurs, les jeunes arbres eussent été pliés et non cassés. Le trajet parcouru est, en ligne droite, de 1,500 mètres, et la pente en moyenne de 46 pour 100.

Dans nos montagnes, il faut distinguer les avalanches qui tombent en hiver de celles qui tombent au printemps. Au mois de janvier, la neige est sèche, elle se forme en boules, elle se roule sur elle-même et se précipite sur les pentes avec une force irrésistible. Au printemps, le phénomène prend un autre aspect : les névés se transforment, par le fait de leur chute, en une masse pâteuse, qui se charge de boue en passant ; cette masse se meut alors à pente égale avec beaucoup plus de lenteur et ne fait pas autant de ravages dans les forêts. En examinant, dans le mois de mai ou de juin, le résidu d'une avalanche, au pied d'un couloir, on peut reconnaître, jusqu'à un certain point, à quelle époque de l'année elle est tombée, par la nature et la forme des matériaux qui restent sur place.

M. Boué écrit à M. de Wegmann :

Il est parti de Constantinople, au mois de mai dernier, pour le Taurus et la Mésopotamie, une caravane de savants et demi-savants, en bonne partie turcs. A la tête se trouve un Allemand, M. Schwarzenbach. Les Turcs sont des élèves de l'école de Galata-Seraï, et en particulier un élève du colonel de Hauslab, qui avait déjà manifesté à ce dernier beaucoup de goût pour l'étude des antiquités, dans un voyage fait ensemble à Pompéia. Ces voyageurs doivent se livrer à des mesures de hauteur, des recherches sur les antiquités, sur l'ethnographie, la géographie, et je pense aussi, sur la géologie. C'est *la première expédition turque* entreprise dans un but scientifique.

M. Damour lit le Mémoire suivant :

Nouvelles analyses de la prédazzite et des produits qui résultent de sa décomposition.

La prédazzite, substance minérale trouvée à Predazzo, dans le Tyrol méridional, a été décrite et analysée pour la première fois par M. Léonardi, à qui la science est redevable d'utiles observations. Les résultats de cette analyse ont été traduits en formules par M. Petzholdt, et ce minéral a été classé comme constituant une dolomie hydratée (*Beiträge zur Geognosie von Tyrol*, Leipzig, 1843, § 194).

Par suite d'un travail spécial sur l'origine géologique des dolomies, M. Fournet, ayant conçu quelques doutes sur la composition de la prédazzite, a désiré que cette substance fût soumise à un nouvel examen et a bien voulu m'adresser à cet effet un échantillon très pur qu'il avait pris soin de détacher des parties centrales de la masse. Il m'a remis également d'autres échantillons choisis sur les bords et formant ainsi une croûte extérieure, puis une matière en concrétions blanches, recueillie dans les fissures de cette même masse.

J'ai étudié successivement ces différentes matières; je vais exposer le résultat des essais et des analyses auxquels j'ai cru devoir les soumettre.

Prédazzite pure, détachée des parties centrales de la masse.

Cette substance, au premier aspect, ressemble à un marbre saccharoïde blanc, à grains très serrés; sa dureté est égale à celle du calcaire; elle présente plus de ténacité que le marbre; j'ai trouvé sa pesanteur spécifique égale à 2,57. Si on l'examine à la loupe, on remarque qu'elle est pénétrée en tous sens par des lamelles qui présentent l'éclat du gypse cristallin ou de l'hydrate de magnésie naturel.

Rougie dans un tube, la prédazzite laisse dégager une quantité notable d'eau qui n'exerce aucune réaction sur le papier de tournesol. La matière ainsi calcinée présente à sa surface, après le refroidissement, une multitude de petits mamelons blanchâtres qui ressemblent à une substance effleurie.

L'acide chlorhydrique dissout la prédazzite avec rapidité en produisant une vive effervescence; une faible quantité de silice en grains reste inattaquée.

L'acide sulfurique faible, mis en contact avec le minéral non

pulvérisé, l'attaque partiellement et produit d'abord une effervescence. Bientôt cette effervescence s'arrête, et l'on remarque, après un quart d'heure d'action, un grand nombre de vacuoles uniformément réparties à la surface du minéral.

Présumant que la prédazzite pouvait être un calcaire pénétré de lamelles gypseuses, j'ai tâché d'y constater la présence de l'acide sulfurique; le résultat de cet essai a été complétement négatif.

Traité par l'acide acétique, le minéral se dissout avec effervescence et assez rapidement. M. Fournet, qui a plusieurs fois employé ce réactif pour distinguer le carbonate de chaux des dolomies, a reconnu que ces dernières exigent pour s'y dissoudre un laps de temps considérable.

Une analyse qualitative préalable m'a démontré que le minéral était essentiellement formé d'acide carbonique, de chaux, de magnésie et d'eau; qu'il contenait de plus une faible quantité de silice en grains et d'oxyde de fer.

L'eau a été déterminée directement: 1gr. du minéral chauffé au rouge sombre dans un tube fermé à une extrémité et joint à un autre tube rempli de ponce sulfurique a perdu par cette calcination 0gr.,1100. Le tube où l'eau a été recueillie a subi une augmentation de poids de 0gr.,1050.

Une seconde expérience a donné, pour la quantité d'eau recueillie, 0gr.,1089.

L'acide carbonique a été également dosé directement.

1gr.,0000 de matière a été attaqué par l'acide chlorhydrique, dans un ballon de verre communiquant avec un appareil composé de tubes laveurs, de tubes à dessécher, de tubes de Liebig garnis de potasse liquide et de potasse en fragments, analogues aux appareils dont on se sert dans les analyses de matières combustibles. Les tubes à potasse pesaient :

Avant l'opération.	78gr,6030
Après l'opération.	78gr.,8530
Augmentation du poids due à l'acide carbonique absorbé.	0gr.,2500

Un second dosage, effectué par le même procédé, m'a donné 0gr.,2640 d'acide carbonique.

Pour déterminer l'oxyde de fer, la chaux et la magnésie, 1gr.,0000 du minéral a été dissous dans l'acide chlorhydrique, la liqueur évaporée à siccité et le résidu sec repris par l'eau acidulée. Un faible dépôt siliceux a été séparé. La liqueur acide étant saturée

d'ammoniaque, il s'est précipité de l'oxyde ferrique contenant un peu de magnésie. Cet oxyde a été dissous sur le filtre avec la magnésie, précipité de nouveau par l'ammoniaque, puis séché et pesé.

Les liqueurs séparées de l'oxyde ferrique étant réunies, la chaux a été précipitée par l'oxalate d'ammoniaque. L'oxalate de chaux a été transformé en carbonate, puis en sulfate. Le poids de ce sel a servi à évaluer la proportion de la chaux.

La liqueur séparée de l'oxalate de chaux a été évaporée à siccité, et le résidu chauffé au rouge pour chasser le sel ammoniac mêlé à la magnésie. Le chlorure magnésique resté fixe a été dissous dans l'eau et décomposé par l'acide sulfurique. Le sulfate magnésique qui en est résulté a été desséché et rougi dans un creuset de platine à plusieurs reprises, jusqu'à ce que son poids demeurât invariable. La proportion de ce sel a servi à déterminer la quantité de la magnésie. Le dosage étant effectué, je me suis assuré que le sel magnésique se redissolvait aisément dans l'eau pure en dégageant une vive chaleur.

Ainsi, en effectuant le dosage direct de chacun des éléments de la prédazzite, j'ai obtenu, sur 1gr.,0000 :

	1re Analyse.	2e Analyse.
Acide carbonique. .	0,2500	0,2640
Chaux.	0,3542	0,3547
Magnésie.	0,2432	0,2461
Eau..	0,1089	0,1050
Oxyde ferrique. . .	0,0045	0,0050
Silice.	0,0060	0,0055
	0,9707	0,9803

La perte qu'on remarque sur ces deux analyses, et notamment sur la première, affecte principalement le dosage de l'acide carbonique. Si, en effet, on calcule la quantité de cet acide d'après la proportion de chaux supposée à l'état de carbonate neutre ($\dot{C}a\,\ddot{C}$), l'analyse devrait présenter 0gr.,2751 d'acide carbonique au lieu de 0gr.,2500 et 0gr.,2640. Cette différence de 1 à 2 centigrammes tient d'abord à la difficulté de doser directement l'acide carbonique sans perte, et aussi aux mélanges variables que la prédazzite peut contenir dans les diverses parties d'un même échantillon.

Supposant donc la chaux à l'état $\dot{C}a\,\ddot{C}$, l'analyse devra se présenter ainsi :

1re *Analyse.*

				Oxygène.	Rapport.
Carbon. de chaux.	0,6293	Ac. carbon.	0,2751	0,1990	2
		Chaux.. . .	0,3542	0,0995	1
Hyd. de magnésie.	0,3521	Eau.. . . .	0,1089	0,0968	1
		Magnésie. .	9,2432	0,0941	1
Oxyde ferrique. .	0,0045				
Silice.	0,0060				
	0,9919				

2e *Analyse.*

				Oxygène.	Rapport.
Carbon. de chaux.	0,6299	Ac. carbon.	0,2752	0,1991	2
		Chaux.. . .	0,3547	0,0996	1
Hyd. de magnésie.	0,3511	Eau.. . . .	0,1050	0,0933	1
		Magnésie. .	0,2461	0,0952	1
Oxyde ferrique. .	0,0050				
Silice.	0,0055				
	0,9915				

La prédazzite ne serait ainsi qu'un carbonate de chaux ordinaire contenant un mélange mécanique d'hydrate de magnésie. Les caractères extérieurs du minéral concourent à rendre cette supposition très vraisemblable.

Voici maintenant les résultats de l'analyse de M. Léonardi. L'échantillon a donné par la calcination 0gr.,0698 d'eau. Reprenant ensuite la matière ainsi privée d'eau, M. Léonardi a trouvé qu'elle contenait

Carbonate de chaux.	0,6870
Carbonate de magnésie.	0,3030
Silice, alumine et oxyde de fer. .	0,0100
	1,0000

D'après ces données, M. Petzholdt a présumé que le minéral analysé par M. Léonardi était un hydrocarbonate de chaux et de magnésie ayant pour formule :

$$(2\,\dot{C}a\,\ddot{C} + \dot{M}g\,\ddot{C}) + \dot{H}.$$

Cette formule donnerait :

Carbonate de chaux . .	0,6595	Ac. carbonique.	0,2850
		Chaux..	0,3745
Carbonate de magnésie.	0,2813	Ac. carbonique.	0,1454
		Magnésie. . . .	0,1359
Eau.	0,0592		
	1,0000		

Cette hypothèse ne saurait s'accorder avec les résultats de mes analyses. M. Petzholdt admet que la chaux et la magnésie du minéral sont saturées par l'acide carbonique ; de mon côté, je trouve une quantité d'acide carbonique seulement suffisante pour saturer la chaux.

Le mode d'analyse suivi par M. Léonardi pourrait donner raison de ce désaccord. L'hydrate magnésique contenu dans le minéral, étant décomposé par la calcination, a laissé de la magnésie caustique qui absorbe assez rapidement l'acide carbonique de l'air. Si la masse calcinée est restée quelque temps au contact de l'air, il a dû se former du carbonate magnésique. Je ferai aussi remarquer que la magnésie et l'eau déterminées dans cette analyse présentent entre elles le rapport approché de 1 à 1, qui constitue l'hydrate magnésique.

Ces considérations, jointes aux résultats exposés ci-dessus, m'amènent à conclure que la prédazzite ne doit pas former une espèce minérale distincte, mais qu'elle représente plutôt une roche calcaire renfermant un mélange d'hydrate magnésique.

Prédazzite détachée des bords de la masse.

Cette matière se montre en masses poreuses d'un blanc jaunâtre ; vue à la loupe, elle présente une multitude de vacuoles uniformément réparties à sa surface ; elle se laisse rayer et écraser plus facilement que la prédazzite saine.

Placée dans l'eau, elle laisse dégager des bulles d'air qui produisent un sifflement ; elle se dissout avec facilité et avec une vive effervescence dans les acides nitrique, chlorhydrique et acétique.

Son analyse, faite par les procédés ordinaires, a donné :

		Oxygène.	Rapports.
Eau hydroscopique..	0,0050		
Eau combinée.. . .	0,0140	— 0,0124	— 1
Magnésie.	0,0300	— 0,0116	— 1
Carbonate de chaux.	0,9281		
Silice.	0,0150		
Oxyde ferrique. . .	0,0085		
	0,9976		

On voit que cette matière, par suite de la disparition de l'hydrate magnésique qu'elle contenait primitivement, n'offre plus qu'un squelette de carbonate de chaux. Les faibles quantités de magnésie et d'eau qu'elle retient encore conservent entre elles le rapport de 1 à 1.

Hydrocarbonate de magnésie.

Pour compléter les recherches sur la prédazzite, il restait à étudier la matière concrétionnée trouvée par M. Fournet dans les fentes de la masse altérée. Cette matière, blanche, mamelonnée à la surface, est compacte dans la cassure; chauffée dans le tube, elle laisse dégager beaucoup d'eau. Humectée de nitrate de cobalt et chauffée au rouge, elle prend une teinte rose pâle. L'acide sulfurique faible la dissout en produisant une vive effervescence. La dissolution, évaporée lentement, donne des cristaux de sulfate magnésique.

L'analyse a donné :

1re *Analyse.*

		Oxygène.	Rapports.
Acide carbonique. .	0,3366	0,2435	6
Magnésie	0,4194	0,1623	4
Eau.	0,2060	0,1831	4
Oxyde ferrique.. . .	0,0090		
Silice en grains. . .	0,0250		
	0,9960		

2e *Analyse.*

		Oxygène.	Rapports.
Acide carbonique. .	0,3367	0,2435	6
Magnésie	0,4224	0,1635	4
Eau.	0,2060	0,1831	4
Oxyde ferrique. . .	0,0095		
Silice.	0,0185		
	0,9931		

La quantité d'eau est ici un peu forte; une partie doit être combinée avec l'oxyde de fer et former un hydrate.

Ce composé a pour formule :

$$3\,(\dot{M}g\,\ddot{C} + \dot{H}) + \dot{M}g\,\dot{H}.$$

C'est donc l'hydrocarbonate magnésique, espèce déjà bien connue, et qu'il est facile de reproduire artificiellement. La composition de cette substance, son gisement autorisent ainsi à supposer qu'elle doit son origine à l'action d'un dissolvant qui aurait enlevé

l'hydrate magnésique contenu dans la roche, et aurait abandonné plus tard la magnésie. Celle-ci se serait unie à des proportions déterminées d'eau et d'acide carbonique.

Ces faits me semblent venir à l'appui des conclusions que j'ai tirées de mon analyse de la prédazzite ; M. Fournet, ayant pu voir et étudier sur place le gisement de cette roche, s'est réservé d'en donner la description géologique et d'expliquer sa formation.

M. Daubrée fait la communication suivante :

Estimation de quelques émanations de chaleur naturelles et artificielles, par A. Daubrée.

Parmi les différentes sources de chaleur naturelles ou artificielles qui se répandent dans notre atmosphère, et dont l'action contribue pour une composante, extrêmement faible, il est vrai, à la température que nous observons, il en est quelques unes dont on peut chercher à estimer approximativement la valeur, au moins pour certaines régions. Telle est celle due aux sources thermales, celle produite par les combustibles minéraux et par les combustibles d'origine contemporaine.

Flux de chaleur due aux sources thermales de la France. — Chaque source d'eau thermale réchauffant la surface de la terre en raison de son excès de température sur la température moyenne du lieu, et en raison de son volume, on obtiendra son influence calorifique en multipliant ces deux facteurs l'un par l'autre. — En faisant ces calculs pour les 45 sources thermales de la France dont le volume est approximativement connu (1), on voit que leur effet équivaut, par minute, à celui de 253,534 litres, dont la température serait élevée de 1° C. au-dessus de la température moyenne de la contrée, cette température étant supposée 13° C. Cette quantité de chaleur pourrait fondre une couche de glace à 0 degré couvrant la France et ayant d'épaisseur $0^m,00000324$. — M. Élie de Beaumont, en s'appuyant sur des formules obtenues par M. Poisson (2), a calculé que le flux de la chaleur produit annuellement par le rayonnement intérieur du globe correspond, pour Paris, à la fusion d'une couche de glace d'une épaisseur de $0^m,0065$. — En adoptant ce chiffre comme général pour toute l'étendue de la France, on voit que la quantité de chaleur apportée par les sources de notre pays

(1) *Comptes-rendus des ingénieurs des mines en* 1843.

(2) Poisson, *Théorie mathématique de la chaleur*. Supplément, p. 17.

n'est que les 5 millièmes environ du flux direct qui traverse le sol. — Dans certaines contrées peu étendues, la quantité de chaleur apportée dans l'atmosphère par les sources thermales est proportionnellement bien plus considérable. Mais comme, d'un autre côté, il existe de vastes régions dépourvues de sources thermales, peut-être la moyenne générale des continents ne diffère-t-elle pas très considérablement de la moyenne calculée pour la France. On ignore ce qui se passe dans les profondeurs de l'Océan, où peut-être les épanchements thermaux sont plus considérables. — Quant à la chaleur déversée par les volcans dans l'atmosphère, nous ne pouvons même nous en faire une idée grossière.

Chaleur produite en France par le combustible minéral. — La combustion de 53,387,000 quintaux de houille et de 1,480,800 de lignite qui a été opérée en 1844, en France, correspondrait à la fusion d'une couche de glace couvrant le pays et ayant d'épaisseur $0^m,00067800$. — En France, en Angleterre, en Belgique et en Prusse, on extrait à peu près les quantités suivantes de houille :

France.	37,800,000
Angleterre.	200,000,000
Belgique.	32,000,000
Prusse.	29,000,000
	298,800,000

La chaleur produite par cette houille liquéfierait une couche de glace couvrant la superficie totale des quatre contrées mentionnées, ou 1,143,000 kilomètres carrés, et dont l'épaisseur serait de $0^m,00161800$. Cette dernière épaisseur est presque égale à la somme de celles qui résultent, en France, du combustible végétal et du combustible minéral, ce qui n'est pas étonnant, puisqu'en Angleterre et en Belgique la houille est le combustible principalement employé.

Chaleur produite en France par le combustible végétal. — La chaleur produite en France par le combustible végétal pendant la même année, c'est-à-dire pour la combustion de 44,346,700 stères de bois et de 6,163,800 stères de tourbe (en supposant une puissance calorifique de 2,600 pour chacun des combustibles), correspond à la fusion d'une couche de glace qui couvrirait la France entière et aurait une épaisseur de $0^m,00105400$.

Chaleur développée par le genre humain. — Pour avoir une idée de la quantité de chaleur développée par le genre humain à la surface du globe, on peut supposer une population de 800 millions

d'hommes, dans laquelle les sexes et les âges seraient répartis dans le même rapport que dans la population de la France. Relativement à la combustion opérée par la respiration, on a admis, d'après les résultats de M. Dumas et ceux de MM. Andral et Gavarret, une consommation, par heure, de 11 grammes de carbone pour 250 millions, de 5$^{gr.}$,5 pour 400 millions, de 5 gram. pour 150 millions d'individus, ce qui donnerait une combustion annuelle totale de 49,612,260 tonnes de carbone. En supposant que la chaleur animale corresponde à la combustion de cette quantité de carbone, cela donnerait une quantité de chaleur qui, si elle était employée à fondre une couche de glace à 0° répartie autour du globe, en liquéfierait annuellement une épaisseur égale à 0^{m},00000836. — Lors même que la chaleur développée par tous les animaux des continents et de l'Océan serait dix fois plus grande que celle qui vient d'être calculée, cette quantité totale serait encore très faible, comparée aux émanations de chaleur du combustible charbonneux.

Chaleur employée dans la circulation de l'eau. — La circulation de l'eau emploie annuellement une quantité de chaleur incomparablement plus forte que toutes les émanations qui viennent d'être mentionnées. On peut estimer cette quantité de chaleur comme équivalente à celle que pourrait fondre une couche de glace recouvrant le globe entier et ayant une épaisseur de 10^{m},70 (1).

Résumé. — Ainsi, en résumé, les quantités de chaleur dégagées annuellement dans les diverses fonctions naturelles ou artificielles dont il vient d'être question peuvent être exprimées, en épaisseur de glace fondue, conformément à la notation employée plus haut, pour les chiffres qui suivent :

Flux dû aux eaux thermales (pour la France).	0^{m},00000324
Chaleur produite par le combustible végétal (pour la France).	0^{m},00105400
Chaleur produite par le combustible minéral (pour la France).	0^{m},00071220
Chaleur produite par le combustible minéral (France, Angleterre, Belgique et Prusse).	0^{m},00170037
Chaleur produite par le genre humain (pour la terre entière).	0^{m},00000836
On sait en outre que le flux de la chaleur interne est représenté par.	0^{m},00650000
Et, d'après M. Pouillet, la chaleur due au soleil par environ.	31^{m},00000000

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIV, p. 549.

La chaleur développée journellement par les animaux et les végétaux ne constitue pas une source réelle. — Il est toutefois à observer que la chaleur développée à la surface du globe, soit par les animaux, soit par les végétaux, ne constitue pas une source réelle qui soit à assimiler à la chaleur du soleil ou à la chaleur interne ; car les animaux et les végétaux ne peuvent sans doute créer de la chaleur et de la force. Comme en général l'action est égale et contraire à la réaction, la vie des animaux, ainsi que la combustion du bois et de la tourbe, ne font que restituer de la chaleur que ces êtres ont absorbée dans différentes fonctions organiques.

Séance du 21 juin 1847.

PRÉSIDENCE DE M. DUFRÉNOY.

M. Le Blanc, secrétaire, donne lecture du procès-verbal de la dernière séance, dont la rédaction est adoptée.

Par suite des présentations faites dans la dernière séance, le Président proclame membres de la Société :

MM.

Victor Thiollière, à Lyon, rue Saint-Dominique, 15, présenté par MM. Coquand et Le Blanc ;

Haehner, consul-général de Saxe, à Livourne (Toscane), présenté par MM. Coquand et Le Blanc ;

Angelo Vegni, directeur des mines du Bottino, à Serravezza (Toscane), présenté par MM. Coquand et Le Blanc ;

J.-B. Logan, à Singapour, présenté par MM. Élie de Beaumont et Virlet.

M. de la Pylaie, sur sa demande, est admis à faire de nouveau partie de la Société.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. Hardouin Michelin, *Iconographie zoophytologique ;* 26e livraison ; Paris, chez P. Bertrand.

De la part de M. le Dr Eugène Robert, *Des moyens propres*

à détruire les insectes nuisibles aux forêts, aux grandes cultures, etc. (extr. des *Mémoires de la Société royale et centrale d'agriculture*, année 1847); in-8°, 12 p. Paris, 1847; chez Ve Bouchard-Huzard.

De la part de M. Hogard, *Notice sur deux petits dépôts de tuf calcaire, situés à Vincey (Vosges)* (extr. des *Annales de la Société d'émulation des Vosges*, tom. VI, 1er cahier, 1846); in-8°, 12 p., 1 pl. Épinal, 1846, chez Gley.

De la part de M. Ch. Desmoulins, *Examen des causes qui paraissent influer particulièrement sur la croissance de certains végétaux dans des conditions déterminées;* in-4°, 16 p. Caen, 1847; chez A. Hardel.

De la part de M. le baron de la Pylaie; *Notice sur l'île de Sein;* in-8°, 8 p..... 1846.

De la part de M. A. C. G. Jobert, *La philosophie de la géologie;* in-18, 195 p. Paris, 1846; chez A. C. W. Galignani et Compe.

Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1er semestre, nos 23—24.

Bulletin de la Société de géographie, 3e série, t. VII, no 40, avril 1847.

L'Institut; 1847, nos 701 et 702.

Mémoires de la Société d'agriculture, des sciences, arts et belles-lettres du département de l'Aube; nos 98, 99, 100; 2e, 3e, 4e trimestres de 1846. — Nos 1 et 2; 1er et 2e trimestres de 1847.

Annales de l'Auvergne; t. XX, mars et avril 1847.

Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse; no 97.

Bulletin des séances de la Société vaudoise des sciences naturelles; no 15.

The London geological journal; nos 1 et 2.

The Athenæum; 1847, nos 1024—1025.

The Mining journal; 1847, nos 616—617.

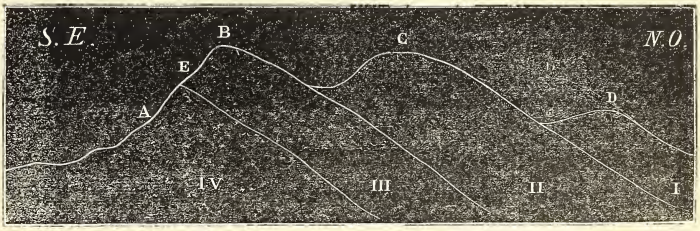
M. le Trésorier présente l'état de la caisse au 1er juin 1847.

État de la caisse au 1er juin 1847.

Il y avait en caisse au 31 décembre 1846. .	4,400 fr.	05 c.
La recette, depuis le 1er janvier 1847, a été de	8,431	»
Total.	12,831	05
La dépense, depuis le 1er janvier 1847, a été de	7,984	90
Il reste en caisse au 31 mai 1847..	4,846	15

M. L. Frapolli expose de la manière suivante l'extrait d'une lettre à lui adressée par M. Gustave Rose.

M. Gustave Rose, ainsi que le professeur Bayrich, de Berlin, sont chargés des travaux pour les cartes géologiques d'une partie de la Prusse. M. Rose a visité l'automne passé les montagnes du Zobten, en Silésie. Il y a trouvé du gabbro stratifié enclavé entre une serpentine et le granite, et reposant sur ce dernier. Voici le profil de ces montagnes du N.-O. au S.-E :



A. Gurkau.
B. Le Zobten.
C. Le Geiersberg.
D. Les Mellenberge.
E. Le Hohe Schuss.

I. Gneiss.
II. Serpentine.
III. Gabbro.
IV. Granite.

Le gabbro dont le grain est très grossier sur le Zobten même se change dans d'autres endroits peu à peu, mais complétement, d'un côté en un schiste vert, tandis que de l'autre il passe à la serpentine. M. Rose en conclut que le gabbro, et peut-être même la serpentine, sont dus à l'influence exercée par les granites sur les formations sédimentaires préexistantes.

Je pense comme lui que la plupart des gabbros sont des roches

de sédiment altérées; seulement je crois qu'ils sont dus à l'action magnésienne produite lors de l'éruption des serpentines. C'est ainsi que j'ai cru pouvoir m'expliquer la formation des gabbros évidemment métamorphiques que j'ai vus dans le Harzgebirge. Il ne serait cependant pas impossible que M. Rose finît par s'assurer positivement par la suite que certaines serpentines elles-mêmes sont le résultat d'une action moléculaire. Dans ce cas, l'introduction de la magnésie aurait pu se faire de la même manière qu'elle a eu lieu pour les calcaires magnésiens et pour les dolomies. Ces serpentines ne seraient que *la dolomie des terrains argileux*.

M. Frapolli présente ensuite la traduction de l'italien de la notice suivante de M. Pilla, envoyée par l'auteur à M. Élie de Beaumont.

Notice sur le calcaire rouge ammonitifère de l'Italie, par M. L. Pilla (1).

Dans la section de géologie du congrès de Milan, une longue discussion s'est engagée sur l'âge du calcaire rouge ammonitifère de Lombardie. M. de Buch, dans une note très savante, le classait parmi les formations supérieures du Jura. — Il s'agissait alors de savoir si ce calcaire devait être regardé comme jurassique, ou bien comme appartenant au terrain crétacé. Les arguments de M. de Buch firent abandonner cette dernière opinion. Cependant il reste encore un fait à éclaircir, c'est le gisement de la *Terebratula diphya* qui se trouve dans ce calcaire. Ce fossile élégant avait été déjà placé par l'illustre géologue de Berlin parmi les représentants de la craie (2). M. Coquand affirme qu'en Provence, dans la Drôme et dans le Gard, c'est sans contestation le terrain néocomien qui le renferme (3). Cette dernière opinion a été également adoptée par nos confrères, MM. Catullo et de Zigno, pour ce qui regarde le gisement de cette espèce dans les Alpes vénitiennes. De mon côté, je tiens comme probable que cette térébratule nous fournit un exemple de plus, et ils ne sont pas rares, d'une même

(1) Cette notice a été écrite avant la réunion du congrès scientifique de Gênes. La question dont il s'agit a été portée devant ce congrès; mais je ne connais point le résultat de la discussion.

(2) *Mém. de la Soc. géol. de France*, t. III, p 197.

(3) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e sér., t. II, p. 192, dans une note.

espèce traversant deux terrains successifs. D'ailleurs, n'ayant jamais été à même de voir cette térébratule dans aucune localité de l'Italie, je laisse à mes savants collègues le soin d'éclaircir la question. — Je m'attacherai davantage à discuter l'opinion de M. Coquand, qui fait redescendre ce calcaire rouge ammonitifère de l'Italie jusqu'au lias inférieur (1). Ses arguments sont puisés dans les différentes espèces d'ammonites que ce calcaire renferme, et qui, suivant lui, sont pour la plus grande partie caractéristiques du lias. Ayant comparé toutes les espèces d'ammonites qui le distinguent ou qui se trouvent dans les couches qui lui sont subordonnées, M. Coquand trouve que de vingt-huit espèces déterminées, vingt-une appartiennent au lias, une au coral-rag, et une au Jura supérieur; cinq ne peuvent être rapprochées d'aucun des étages adoptés. — A la vérité, si la nature des espèces d'ammonites devait à elle seule décider de l'âge de notre calcaire, l'opinion de M. Coquand en serait fortement appuyée, car ce calcaire rouge de Toscane a fourni différentes espèces de la famille des *Arietes*, telles que l'*A. stellaris* (Corfino), l'*A. Conybeari* (id.), l'*A. costatus* (Cetona). On trouve d'ailleurs dans le calcaire rouge du lac de Como, les *A. Walcotii*, *radians*, *comensis*, *heterophyllus*. On a rencontré également ce dernier à Cetona dans le Siennois. Enfin, M. de Buch lui-même dit que la famille des Ammonites falcifères prédomine dans la roche en question. Toutes ces espèces sont regardées comme liasiques par les géologues en général. Je ne parle pas des Ammonites de la Spezia, car j'aurai prochainement l'occasion de m'occuper de leur véritable gisement géologique. — Mais si en attendant l'on examine les caractères de superposition du calcaire ammonitifère, il est facile de se convaincre que ses couches ne peuvent sortir de la série jurassique. Ce fait est d'autant plus certain, que les géologues les plus éclairés, tout en accordant une grande valeur aux déterminations tirées des fossiles, pensent que lorsque dans certains cas leur nature est en opposition avec les lois de la superposition, cette dernière doit l'emporter. — M. de Buch, dans sa note lue au congrès de Milan, a fait observer avec raison que l'espèce qu'on retrouve le plus constamment dans le calcaire rouge ammonitifère du midi de l'Europe est l'*A. tatricus*, voisine de l'*heterophyllus*. Ce fait est incontestable. Il n'y a pas de localité en Italie où le calcaire rouge n'ait pas fourni cet ammonite. Il a été recueilli encore tout récemment par

(1) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e sér., t. III, p. 307 et suiv.

un de nos meilleurs élèves, M Vecchi, dans les montagnes de Cetona, avec d'autres espèces sur lesquelles je reviendrai. Pour éclaircir la question, il ne sera pas inutile d'examiner la position du calcaire rouge ammonitifère dans les principales localités de l'Italie où on l'observe, et d'en étudier les relations stratigraphiques avec les autres séries jurassiques. Nous n'oublierons pourtant pas les caractères tirés de la paléontologie. — Je connais trois endroits principaux en Italie où cette formation est bien déterminée : la Lombardie, le golfe de la Spezia, et les montagnes de Pise avec d'autres localités de la Toscane. La comparaison des observations faites dans ces trois contrées différentes nous fera connaître la place que doit occuper l'étage qui nous concerne.

1° *Formation du lac de Como.* — Après les travaux de MM. de Buch, de Collegno, et de plusieurs géologues distingués de Milan, la série du Jura et du lias du lac de Como, et des autres localités lombardes, est si connue que nous pouvons nous dispenser d'en faire la description. Je me bornerai donc à rappeler la succession des couches qui la composent et leur ordre de superposition. Je mettrai pour cela à profit une des coupes qui accompagnent le beau travail des frères Villa sur la Brianza (pl. II, fig. 1). Les couches en sont disposées du haut en bas comme voici (fig. 1) (1) : — *p.* calcaire dit *Majolica.* Les fossiles y sont rares; les quelques espèces qu'on y trouve sont de la même nature que celles qu'on rencontre dans le calcaire que nous faisons suivre, et qui alterne avec la majolica. — *l.* Calcaire rouge ammonitifère, caractérisé par de nombreuses ammonites. Parmi celles-ci les unes semblent appartenir au lias : ce sont les *A. Walcotii*, *elegans*, *radians*, *heterophyllus.* D'autres sont particulières à la localité, telles que l'*A. comensis* (Buch). D'autres enfin, et surtout l'*A. tatricus* qui parmi toutes les espèces est la plus caractéristique, se trouvent dans le Jura supérieur. Nous ajouterons à ces céphalopodes quelques autres espèces qui paraîtraient appartenir à l'Oolithe supérieure, ainsi que l'*Aptychus lævis* et *lamellosus*, et en dernier lieu la *Terebratula diphya* que plusieurs géologues rangent parmi les fossiles néocomiens. — *k.* Calcaire gris de fumée avec des couches de silex, et renfermant quelques fossiles de la série précédente. Dans plusieurs localités, ainsi qu'aux environs d'Induno, ce calcaire

(1) Les lettres indiquant la succession des couches dans les figures jointes à cette note se suivent dans un ordre interrompu par le fait qu'on a réuni en une seule légende toutes les séries de couches dont il s'agit. Voyez l'explication des planches, p. 1077 et suiv.

est remplacé par une oolithe avec de nombreuses articulations de crinoïdes (*Pentacrinites subangularis*, Miller). — *h*. Calcaire noirâtre auquel appartient le marbre noir de Varenna, renfermant quelques grandes ammonites que M. de La Bèche rapporte à l'*Ammonites Bucklandi*. Dans d'autres endroits, comme à Perledo, dans la vallée d'Esino, ce calcaire se change en un schiste noirâtre où l'on a trouvé plusieurs fossiles qui varient de ceux des couches précédentes, c'est-à-dire les Nucules *breviformis* et *Hammeri*, les Modioles *hillana* et *plicata*, le *Pecten lens*, quelques Cardites et Plagiostomes, et un petit *Cerithium* que M. de Buch croit analogue à une espèce caractéristique de la grande Oolithe, etc. Ces mêmes schistes ont d'ailleurs fourni des débris d'un reptile voisin du plésiosaure et différentes empreintes de poissons appartenant aux genres *semionotus* et *lepidotus*. Ce calcaire noir passe à un calcaire gris clair avec différents fossiles, c'est-à-dire une Rostellaire gigantesque, diverses Turritelles et Natices, un *Trochus* et un *Sigaretus*. Il se réunit à la dolomie du mont Godeno dans la *Grigna erbosa* qui renferme le *Cardium triquetrum* (1). — Suivent plus bas les poudingues et les schistes cristallins dont nous n'avons pas à nous occuper.

D'après cette coupe on ne saurait mettre en doute que le calcaire et les schistes noirs appartiennent au lias, ce qui est démontré par la superposition et par les débris organiques qu'ils renferment. — Le *calcaire rouge ammonitifère* qui est l'autre membre le plus important de la série se trouve à la partie supérieure qui se termine par la majolica. Les débris fossiles qu'il renferme appartiennent les uns au lias supérieur; d'autres paraissent même se rapprocher des fossiles néocomiens. — Suivant plusieurs géologues la *Majolica* complète supérieurement la série jurassique de la Lombardie. — MM. Catullo et Curioni persistent à croire que le calcaire rouge ammonitifère et la majolica sont crétacés; mais leur opinion n'a plus beaucoup d'adhérents. M. de Zigno, qui regarde comme jurassique le calcaire rouge, met la majolica de Lombardie en parallèle avec la *Scaglia* des Alpes vénitiennes, et ayant trouvé dans celle-ci des fossiles néocomiens, il attribue la première au même terrain. L'opinion de M. de Zigno me paraît également peu probable. Il est certain que le *Biancone* du vénitien est néocomien; les fossiles cités par M. de Zigno le prouvent. Mais

(1) Dans la coupe des frères Villa, cette dolomie est placée au-dessous du calcaire noir schisteux. Dans les autres contrées de la presqu'île, la dolomie est supérieure au calcaire.

il n'est pas également sûr que cette roche soit la même chose que la majolica de Lombardie, car dans ce dernier calcaire l'on n'a encore trouvé jusqu'à présent aucun des fossiles néocomiens que M. de Zigno cite dans le *Biancone*.

2° *Formation de la Spezia.* — Comparons la formation du calcaire rouge de la Spezia avec celle du lac de Como. — J'ai eu occasion dans une autre brochure de traiter de la succession des couches du lias et jurassiques de la Spezia (1). Je doutais alors que les couches des montagnes occidentales fussent renversées. Désormais ce doute est devenu pour moi une certitude, ainsi qu'il est prouvé par les faits que voici (fig. 2) : — Dans les montagnes à l'est du golfe, et plus précisément au cap Cerf, on voit au-dessus d'une série de roches cristallines stratifiées *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, et au-dessus d'une anagénite quartzeuse rougeâtre *g*, un calcaire noir schisteux et stratifié *h* qui concorde par son gisement avec les roches sous-jacentes. — Dans les montagnes à l'occident du golfe on voit du haut en bas les couches suivantes : — *h*. Calcaire brunâtre en tout pareil à celui qui, dans les montagnes de l'est, recouvre l'anagénite. Ce calcaire est, par sa composition minéralogique, par ses fossiles et par sa position, parfaitement semblable à celui de la vallée d'Esino, près de Perledo, dans la Lombardie. Sa ressemblance avec le calcaire de cette dernière localité est telle, que M. Trotti, de Milan, m'a dit qu'en l'examinant il croyait absolument avoir affaire à celui de la vallée d'Esino. Les espèces fossiles de Perledo que j'ai vues à Milan sont les mêmes que celles qu'on a recueillies dans la grotte de l'*Arpaja* à la Spezia. — *i*. Une *dolomie* ayant une forme presque éruptive. — *l*. Des *schistes calcaréo-marneux*. Dans les montagnes de Parodi et ailleurs, j'ai vu ces couches inférieures aux dolomies prendre les caractères du calcaire rouge ammonitifère et présenter quelques ammonites empâtées dans la roche, et ayant des formes en tout semblables à celles qui sont communes dans cette formation. — *p*. *Schistes marneux jaunâtres* alternant avec des couches d'un calcaire gris-rougeâtre à grain fin. C'est dans les schistes de cette série que l'on trouve les fameuses ammonites et les alvéoles de bélemnites de la Spezia, dont la plus grande partie sont remplacées par des pyrites. — *r*. Schistes jaunes dans lesquels M. Coquand a trouvé la *Posidonia liasina*. — *s*. *Schistes bigarrés* analogues de quelques *galestri* de Toscane (2).

---

(1) *Saggio comparativo de' terreni che compongono il suolo d'Italia*, t. IV, p. 6.

(2) M. Coquand, n'ayant probablement égard qu'à la couleur rouge

— *t. Macigno.* — En prenant le calcaire brun pour horizon géognostique de cette série, on parvient facilement à reconnaître le renversement des couches dans les montagnes occidentales, et partant la véritable position relative de toutes ces couches. En effet, si l'on admet que le calcaire noir est parfaitement semblable à celui de la vallée d'Esino en Lombardie, et que comme ce dernier il s'appuie sur le poudingue quartzeux, il s'ensuit qu'il constitue la base de toute cette série de couches du lias et jurassiques. Les autres couches qui paraissent inférieures à ce calcaire sont de plus en plus récentes. Cela est confirmé par le contact de ces dernières avec le macigno. De cette manière l'ordre de succession des couches vient correspondre à peu près à celui que l'on voit au lac de Como, et elles reprennent leur position naturelle par rapport au macigno qui les recouvre, et l'anagénite qui leur sert de base. — Le fait du renversement des couches dans cet endroit peut donc être regardé comme complétement prouvé. Nous n'en rechercherons pas la raison pour le moment. — Or, si nous prenons pour horizon le calcaire brun de la Spezia que nous regardons comme liasique, on pourra comparer avec celles du lac de Como les autres couches qui lui sont supérieures. — La dolomie qui succède au calcaire brun est identique, sans aucun doute, à la dolomie du mont Godeno qui se trouve associée à ce calcaire. — Les couches superposées à la dolomie dans les montagnes de Parodi ont été déjà rapportées plus haut au calcaire rouge à ammonites. Il manquerait donc à la Spezia la série du calcaire gris de fumée avec silex *k*, qui se trouve entre le calcaire brun et le calcaire rouge ammonitifère. — La série des couches calcaréo-marneuses et des schistes siliceux qui, à la Spezia, reposent sur le calcaire rouge à ammonites, manque en général sur le lac de Como, car les schistes bigarrés considérés par M. Coquand comme appartenant au calcaire

---

qui domine dans ces schistes, les a rapportés au calcaire rouge ammonitifère. Mais il est facile de s'apercevoir que les schistes dont il s'agit sont ces mêmes schistes siliceux et bigarrés (*galestri*) qu'on voit sur plusieurs points de la Toscane, comme dans les montagnes de Pise, à Campiglia, à Montieri, à monte Rotondo, et qui sont placés à l'extrémité de la série jurassique, au-dessous du macigno. C'est pourquoi quelques géologues, et le professeur Savi en premier lieu, les réunissent tous au macigno ou à la craie. Pour ma part, je pense qu'il est certain qu'il y a en Toscane deux espèces de *galestri*, dont les uns doivent être réunis au macigno, tandis que les autres appartiennent à la partie supérieure du Jura. Parmi ces derniers je compte les schistes de la Spezia, indiqués par la lettre *s*.

rouge ammonitifère ne représentent point cette série, mais bien les schistes siliceux (*galestri*) jurassiques supérieurs de la Toscane, dont j'aurai à parler. — Enfin, le macigno succède également à ces couches de la Spezia comme à la majolica de Lombardie.— Il est temps de dire quelques mots des fossiles renfermés dans les schistes ammonitifères de la Spezia. Tout le monde connaît les déterminations de ces espèces par M. Sowerby, et que M. de la Bèche donne dans son Manuel. Depuis ce temps des études suivies ont répandu plus de lumière sur leur nature véritable. On a reconnu que les prétendues Orthocères n'étaient que des alvéoles de bélemnites. L'*Ammonites Listeri* cité par M. Sowerby n'est très probablement qu'une petite ammonite appartenant à la famille des Macrocéphales et non à celle des Goniatites; du moins on retrouve dans toutes les ammonites que j'ai rencontrées et qui peuvent se rapporter à cette espèce des lobes indiquant des persiliures qui manquent dans les individus appartenant au véritable *A. Listeri;* la figure donnée dans le Manuel géologique de M. de La Bèche présente la même difficulté. Je ne parle point des autres espèces d'ammonites qu'on a trouvées dans ces schistes, et qui ont été déterminées par MM. Sowerby ou A. d'Orbigny; ce sont pour la plupart des espèces particulières de la localité; elles ne sauraient donc nous éclairer dans la question d'âge. Leurs formes générales paraissent liasiques. Mais je n'attache pas une importance absolue à une telle déduction. Ce que je peux affirmer avec toute certitude, c'est que j'ai trouvé dans ces schistes des individus bien conservés de l'*A. tatricus*, et quelques Nérinées, fossiles qui sont plutôt caractéristiques des formations oolithiques supérieures. Que si l'on joint à ces caractères paléontologiques la position des schistes ammonitifères de la Spezia qui sont supérieurs au calcaire rouge à ammonites, on est forcé d'en déduire que ces schistes appartiennent à la série supérieure du terrain jurassique (1).

---

(1) Voici une liste des principales espèces d'Ammonites trouvées à la Spezia :

Ammonites particulières à la Spezia.

A. Catenatus (Sow); M. d'Orbigny rapporte à cette espèce les *A. trapezoidalis* et *comptus* de Sowerby, qu'on a trouvés dans cette localité, lias inférieur (d'Orb.). — *A. Sismondæ* (d'Orb.), lias inférieur (*id.*); — *A. Phillipsi* (Sow.), lias inférieur; — *A. articulatus* (Sow.), lias inférieur (*id.*); — *A. stella* (Sow.).

Suivent les autres Ammonites citées par M. de La Bèche. — Aucun autre gisement de ces espèces n'étant connu, ce n'est que d'après leur

Avant de quitter les formations de la Spezia, je veux fixer la position géologique précise que les marbres statuaires de Carrare occupent dans la série du lias et du Jura. — Lorsque des hauteurs de la Spezia l'on passe dans la vallée de la Tecchia, qui s'ouvre dans les montagnes voisines de Carrare, on retrouve dans cette vallée un calcaire brun en tout pareil à celui que nous avons décrit sur les côtes du golfe; on y voit les mêmes Cardites, Modioles, Peignes, Térébratules, etc., de manière qu'il ne peut rester aucun doute que cette roche ne soit la même que le calcaire brun du lac de Como et de la Spezia. Que si de la vallée de la Tecchia le géologue avance peu à peu vers les carrières peu éloignées du marbre de Carrare, il pourra suivre le calcaire brun qui graduellement perd sa couleur et sa stratification, et se change en ce superbe marbre statuaire que tout le monde connaît. Que l'on ajoute à ce passage graduel la position relative identique des marbres de Carrare et de Serravezza et du calcaire brun de la Spezia avec celui du lac de Como ; que l'on observe que toutes ces roches sont superposées immédiatement aux schistes cristallins inférieurs au lias, et l'on n'aura besoin d'aucune autre démonstration pour en conclure avec certitude que les marbres des Alpes apuanes sont absolument la même chose que les calcaires de la Spezia et du lac de Como appartenant au lias. — Une opinion qui reconnaît le synchronisme des marbres blancs de Carrare, qui il y a quelques années étaient regardés comme primitifs, et des roches calcaires noirâtres voisines, peut paraître assez hardie. Mais cette idée que dans un temps on aurait appelée un paradoxe ou une folie est aujourd'hui une des vérités géologiques le mieux démontrées; et cela est un des plus grands progrès de la géologie de notre époque. C'est à ce sujet que dans un de mes écrits je disais : — « Lorsque dans les Alpes apuanes on observe le passage singulier » des marbres statuaires aux marbres blancs ordinaires, de ceux-ci

---

faciès zoologique général qu'on les regarde comme liasiques, ce qui n'est pas un argument bien sûr.

Ammonites communes à la Spezia et à d'autres localités.

A. Bucklandi (Sow.), lias inférieur ; — *A. Conybeari* (Sow), *idem ;* — *A. stellaris* (Sow.), *idem ;* — *A. amalthæus* (Sow.), lias ; — *A. Boucaultianus* (d'Orb.), lias ; — *A. heterophyllus* (Sow.), lias ; — *A. tatricus* (Pusch), oolithe supérieure ; — *A. Lamberti* (Sow.), argile d'Oxford. — Je ne sais si l'*A. Boucaultianus*, que M. d'Orbigny cite dans la Spezia, peut se rapporter à l'*A. Lamberti*.

» au *bardiglio* et au *bardiglio* foncé, et de ce dernier au calcaire » noir, on dirait que toutes ces variétés ont été produites par les » différents degrés d'action que les causes plutoniques ont exercées » sur des calcaires imprégnés de matières charbonneuses. On dirait » que ces matières n'ayant subi dans les calcaires noirs aucune ac- » tion ignée y sont restées en entier; dans le bardiglio commun » elles ont été chassées en partie; dans le bardiglio fleuri elles se » sont évanouies inégalement dans les diverses parties de la roche; » on peut enfin penser que toutes les matières charbonneuses ont » été chassées des marbres statuaires et que c'est là la cause de » leur pureté (1). »

3° *Formations des montagnes de la Toscane.* — Une des localités où on peut le mieux étudier les relations du calcaire rouge à ammonites en Toscane sont les montagnes de Vecchiano, près de Pise, qui constituent les derniers prolongements des Alpes apuanes vers la vallée du Serchio. Ici les séries liasique et jurassique présentent de bas en haut les couches suivantes (fig. 3) : — *h*. Calcaire brun absolument identique avec celui de la vallée de la Tecchia. — *i*. Calcaire celluleux, dolomitique dans plusieurs points, et ayant tous les caractères de la rauchwacke des Allemands. Ce calcaire, qui forme généralement des masses, représente précisément la dolomie de la Spezia et du mont Godeno sur le lac de Como. Cette roche et la précédente se font remarquer par l'absence absolue de silice. Lorsque le calcaire n'est ni dolomitique ni celluleux, mais compacte, on y voit souvent quelques fossiles turriculés dont la forme est constante dans toute la Toscane; mais ils sont trop engagés dans la roche pour être déterminés. Dans différentes localités des montagnes pisanes, comme par exemple au-dessus des bains de Saint-Giuliano, à l'endroit nommé *la Speloncа*, j'ai trouvé quelques uns de ces fossiles ayant de telles dimensions qu'on y aurait trouvé une ressemblance générale avec les grandes Rostellaires connues dans le lias du lac de Como; j'y ai également vu une ammonite dont on pouvait à peine reconnaître la forme générique. — *l*. Au-dessus de ce calcaire massif on voit un calcaire stratifié avec silice, qui présente en quelques endroits les caractères minéralogiques du calcaire rouge ammonitifère, et dans lequel M. Savi a trouvé des ammonites peu reconnaissables à cause de leur engagement dans la roche; les formes de ces ammonites rappellent celles qu'on est habitué à voir dans ce calcaire. Sa superposition au précédent est évidemment discordante, ainsi qu'on peut s'en con-

(1) *Breve cenno sulla ricchezza minerale della Toscana*, § 3.

vaincre au lieu appelé *la Paduletta*. On verra encore mieux cette discordance dans d'autres localités de la Toscane. — Vient ensuite une série de couches que nous allons énumérer en indiquant leurs principaux caractères. — *m*. Couches de marnes et de calcaires marneux concordant avec les couches précédentes. M. Savi y a trouvé de singuliers fucoïdes, et entre autres les *F. Targioni*. — *n*. Calcaire brun stratifié et très siliceux ; ce dernier caractère et sa position le distinguent du calcaire brun *i*. On n'y voit pas de fossiles. — *o*. *Schistes siliceux bigarrés* appelés communément *galestri* en Toscane. Ces schistes sont stratifiés en couches minces et très contournées. — *p*. Calcaire blanc à grain fin et cassure conchoïdale, renfermant de nombreux noyaux de silex. Cette roche stratifiée distinctement ressemble grandement à la majolica de Lombardie. — *q*. Calcaire gris avec silex bien stratifié et dont les couches sont très bouleversées. — *r*. Série de couches marneuses jaunâtres ou verdâtres avec calcaire marneux à grain fin de même couleur. — Dans quelques localités des montagnes pisanes, on voit succéder à ces couches d'autres schistes bigarrés qui représentent parfaitement les mêmes schistes qu'on rencontre sur la côte occidentale de la Spezia, et qui sont au-dessous du macigno (1).

Age de ces diverses séries de couches. — Nous avons vu : 1° que le calcaire brun représente le lias de la Spezia et du lac de Como ; 2° que le calcaire celluleux ou rauchwacke est l'équivalent de la dolomie de ces mêmes localités ; 3° que le calcaire stratifié est parallèle au calcaire rouge à ammonites de ces contrées. — M. Savi s'appuyant sur les fucoïdes trouvés dans les couches calcaréo-marneuses, au-dessus du calcaire rouge à ammonites, a placé dans la craie inférieure ces couches et celles qui leur sont superposées. J'ai quelque difficulté à admettre cette opinion de mon savant collègue, et j'ai même donné dans une autre brochure (2) les raisons qui me font croire que toutes les séries dont nous avons parlé sont l'équivalent de celles qu'on trouve sur les montagnes occidentales de la Spezia entre le calcaire rouge à ammonites et le macigno. — Un fait très remarquable en géologie c'est la ressemblance des carac-

---

(1) Il paraît exister dans les montagnes jurassiques de la Toscane deux séries de schistes siliceux bigarrés, dont les uns sont au milieu des couches jurassiques (près des montagnes de Vecchiano, au *monte di Legnaja*), et dont les autres fermeraient la série (schistes de la Spezia, de Campiglia dans les Maremmes, de Gerafalco, etc.). Je ne saurais trop insister sur ces singuliers schistes siliceux bigarrés, car ils me paraissent être tous propres des formations jurassiques de la Toscane.

(2) *Distinzione del terreno Etrurio*, p. 28 et suivantes.

tères, la régularité et l'uniformité de superposition qu'on observe dans des couches de contrées éloignées et séparées par plusieurs formations intermédiaires plus récentes. Si les preuves avec cette vérité manquaient, on pourrait citer la série du lias et du Jura italien. Nous avons vu que le calcaire brun et le calcaire rouge ammonitifère du lac de Como sont tout à fait identiques avec ceux de la Spezia et des montagnes de Pise, et que ces calcaires conservent partout les mêmes positions relatives. C'est ce que l'on observe également dans d'autres localités de la Toscane qui ne s'en éloignent que par quelques petites exceptions provenant de la suppression accidentelle de l'une ou de l'autre couche. — Les montagnes de Campiglia dans les maremmes Toscanes nous offrent une série de couches du Jura et du lias parfaitement semblables à celles décrites dans les montagnes Pisanes, comme on les voit dans la fig 4. — En partant du pied de ces montagnes dans la plaine de la *Cornia*, et en avançant vers la vallée del *Seccatojo*, on voit sur les pentes orientales du *Rialto di monte Calvi*, du haut en bas, la succession des couches que voici : — *t. Macigno* bien caractérisé, sur lequel est bâti le village de Campiglia. — *r''*. Une série nombreuse de couches de marne schisteuse et de calcaire marneux absolument identiques avec celles qui renferment les ammonites et les bélemnites de la Spezia. Aucun de ces fossiles n'y a pourtant été trouvé jusqu'à ce jour ; l'identité n'est donc déduite que de leurs caractères minéralogiques et de la position qu'elles occupent (1). Ces couches supportent le macigno de la montagne de Campiglia-Vecchia. — *l*. Dans la colline qu'on appelle du *Gabbro al Fico* on voit se succéder une formation de calcaire rouge à ammonites avec silex (2) et très puissante. Dans cet endroit je n'ai pu retrouver d'ammonites, mais elles ont été recueillies par M. Savi, M. Coquand et moi dans la même formation qui se fait voir dans une localité du Campigliese peu éloignée, et sur laquelle nous reviendrons. — *i''*. Le calcaire ci-dessus s'appuie par les tranches de ses couches redressées et bien distinctes contre la montagne escarpée qu'on appelle *Poggio del Cerro crociato*. Les couches de ce calcaire se diri-

---

(1) Il est vrai que j'ai vu dans la collection de M. Coquand, à Campiglia, un morceau de ces schistes marneux, avec une petite Ammonite défigurée, qui ressemble beaucoup à quelques unes de celles de la Spezia.

(2) Le mot italien *con selce* employé au singulier ne me permet pas de savoir avec certitude si l'auteur a voulu dire silice ou silex.

(*Le traducteur.*)

gent du nord au sud. Cette montagne laisse deviner même de loin une structure complétement différente de celle de la colline précédente; elle se compose d'une grande masse de calcaire compacte, blanchâtre, celluleux ou sub-cristallin, sans aucun indice de stratification. Au point où le calcaire rouge stratifié se joint à ce calcaire blanchâtre et massif, une petite dépression indique la discordance de superposition des deux roches. — Si du côté oriental du *Monte-Calvi* on passe, pour examiner les rapports de ces deux roches calcaires, sur la partie occidentale de la même montagne, on voit d'autres accidents qui rendent leur position géologique encore plus claire. — Dans le vallon de *Fucinaja*, et plus proprement au lieu appelé la *Gran Cava*, le calcaire rouge à ammonites reparaît avec tous ses caractères; c'est la continuation de celui qu'on voit au lieu dit *la Caldana*, où l'on a trouvé des ammonites caractéristiques. On voit dans ce calcaire un grand nombre de débris d'Encrines, qui peuvent se rapporter à l'*Apiocrinites rotundus*, et différentes couches de schistes siliceux rougeâtres qui l'accompagnent dans sa partie supérieure; on peut suivre ces schistes vers *Montione* et *Monte-Rotondo* où sous l'influence des agents plutoniques ils se sont changés en alunite. Mais ce qui donne une grande importance à cette localité, c'est la superposition transgressive du calcaire rouge qui par les tranches de ses couches disloquées s'appuie contre un mamelon de calcaire blanc cristallin et massif, dont il n'est séparé que par un conglomérat de fragments de ce dernier calcaire (fig. 5). — Il découle de tous ces faits : 1° que les schistes siliceux formant la partie supérieure de la série jurassique du Campigliese sont identiques avec ceux que, à la Spezia, on voit sous le macigno ; — 2° que les couches de calcaire marneux qui les supportent représentent les schistes du même genre qui renferment les ammonites de la Spezia ; — 3° que le calcaire rouge ammonitifère de cette partie de la Toscane n'est que la continuation de celui qui se montre en Lombardie, à la Spezia et dans d'autres localités du centre de l'Italie ; — 4° que le calcaire massif et le calcaire cristallin qui est au-dessous du précédent et en stratification discordante avec lui sont l'équivalent du marbre statuaire de Carrare, du calcaire brun de la Spezia, et de celui du lac de Como.

Considérations générales. — La position exacte du calcaire rouge ammonitifère dans les différentes parties éloignées de l'Italie nous étant connue, nous pouvons désormais nous occuper de le caser dans la série jura-liasique. Ce classement nous permettra de déterminer les couches qui lui sont inférieures ou supérieures. — Sur

le lac de Como ce calcaire forme sans contestation la partie supérieure de la série jurassique. Sa position le prouve. Cela est si vrai, que quelques géologues, se fondant d'ailleurs sur la présence de la *Terebratula diphya*, l'ont placé dans la craie. D'un autre côté les ammonites qu'il renferme porteraient à le faire regarder non seulement comme jurassique mais comme appartenant aux formations les plus anciennes de ce terrain; car, d'après les observations si justes de M. de Buch, ces ammonites rentrent pour la plupart dans la famille des Falcifères, qui a vécu pendant le dépôt du lias supérieur et de la plus ancienne des oolithes. — La place que le calcaire rouge occupe dans le centre de l'Italie est plus en rapport avec les ammonites qu'il renferme. A la Spezia et dans les montagnes de la Toscane, il repose immédiatement sur une dolomie ou *rauchwacke*, et sur un calcaire noir, roches qui, par leur position et par leurs fossiles, sont identiques à la dolomie et au calcaire brun de la vallée de l'Esino sur le lac de Como, que tous les géologues regardent comme du lias. Dans les localités de la Toscane, on le voit d'ailleurs supporter une série de couches jurassiques, qui par leur position peuvent être classées dans la partie supérieure du Jura. Ces couches paraissent manquer au lac de Como, à moins qu'on ne les suppose représentées par la majolica; mais les caractères minéralogiques si différents des deux roches et l'épaisseur des dépôts de la première rendent ce parallélisme un peu forcé. C'est donc par des considérations paléontologiques qu'il faudra tâcher de fixer l'âge de notre calcaire rouge dans l'Italie centrale. — Nous avons dit que les schistes à ammonites de la Spezia et les autres schistes jurassiques qui les recouvrent reposent entre le calcaire rouge à ammonites et le macigno. Ce caractère suffirait à lui seul pour faire placer ces schistes dans la partie supérieure de la série jurassique. Mais les géologues qui ont examiné les différentes espèces d'ammonites de la Spezia, tels que MM. Sowerby, de Buch et d'Orbigny, les ont regardées comme appartenant au lias et même au lias inférieur. Je crains de paraître téméraire en voulant discuter les conclusions d'autorités aussi respectables. Pourtant, je prendrai la liberté de faire quelques observations sur ce sujet, avec tous les égards qui sont dus à des paléontologues aussi distingués. Il est bon de remarquer d'abord que la plus grande partie des ammonites de la Spezia sont des espèces nouvelles; elles ne sauraient donc aucunement nous éclairer sur l'âge des couches qui les renferment, et l'on est réduit à se fonder sur les caractères généraux des familles, ce qui affaiblit de beaucoup les conclusions qu'on peut tirer. Ensuite l'on observe qu'avec les ammonites à

faciès liasique on rencontre également l'*A. tatricus*, l'*A. Lamberti*, et quelques Nérinées qui caractérisent ordinairement l'oolithe supérieure et l'argile d'Oxford. Que si l'on ajoute ces caractères à leur position stratigraphique, on est autorisé, je crois, à conclure que ces schistes occupent la partie supérieure de la série jurassique, et représentent peut-être en grande partie l'argile d'Oxford. Il s'ensuit alors naturellement que le calcaire rouge à ammonites doit être rapporté à la formation jurassique inférieure.—On arrive à la même conséquence par l'examen des caractères stratigraphiques du calcaire rouge à ammonites et des séries de schistes calcaires qui dans les montagnes de Pise et de Campiglia lui sont superposées. Ces dernières séries occupent précisément la même position que les schistes ammonitifères de la Spezia, auxquels ils ressemblent beaucoup par leurs caractères minéralogiques; elles sont placées entre le calcaire rouge et le macigno. Il est vrai qu'une circonstance importante paraîtrait s'opposer à l'adoption de ce parallélisme; c'est que dans les calcaires schisteux de la Toscane on ne voit point les ammonites de la Spezia, et l'on y trouve au contraire différents fucoïdes semblables à ceux du macigno. Mais si l'on considère : 1° Que ces dépôts ont une grande ressemblance minéralogique avec ceux de la Spezia; 2° que quelques calcaires qui font partie de ces dépôts dans les montagnes de Massaciuccoli près de Pise ressemblent tout à fait à la majolica de Lombardie; 3° que les dépôts dont il s'agit occupent exactement la même position que les schistes à ammonites de la Spezia; 4° qu'on n'y voit aucune trace de fossiles crétacés; 5° qu'enfin d'après M. Studer on trouve quelques fucoïdes du macigno même dans le *flisch* liasique des Alpes; je me crois en droit de reproduire ce que M. de Buch a avancé pour le calcaire rouge ammonitifère de Lombardie, c'est-à-dire qu'il est peu probable que ces quelques *fucus* rencontrés dans leurs couches suffisent pour les faire remonter jusqu'aux formations crétacées. — D'après les faits que nous avons passés en revue et que je crois exacts, on peut donc conclure que le calcaire rouge à ammonites de l'Italie a été déposé à la partie inférieure de la série jurassique. Cette position est déduite non seulement de ses rapports stratigraphiques, mais encore de la nature des fossiles qu'il renferme; car les ammonites falcifères qui sont communes dans cette roche sont propres, d'après M. de Buch, au lias supérieur et à l'oolithe inférieure. — Un autre caractère vient d'ailleurs appuyer le classement parmi les formations jurassiques du calcaire rouge que nous retirons définitivement du lias. Il résulte de toutes les observations que j'ai pu

faire en Italie, que la silice commence à se montrer dans les dernières couches secondaires, c'est-à-dire dans les couches étrusques, et qu'elle est très abondante dans toute la formation de la craie et dans la partie supérieure du Jura, puisqu'elle disparaît entièrement dans le lias et dans les autres formations plus anciennes. Or, puisque cette substance se trouve abondamment dans le calcaire rouge ammonitifère et manque absolument dans le lias qu'il recouvre, il s'ensuit même de ce côté une forte présomption en faveur de notre opinion. — La position que je viens d'attribuer au calcaire rouge ammonitifère de l'Italie ne diffère pas beaucoup de celle que M. Coquand a soutenue dernièrement. La distance entre l'oolithe inférieure et le lias est si petite qu'on peut parfaitement placer un dépôt incertain dans l'une ou dans l'autre de ces formations, sans dépasser les limites d'incertitude inhérentes à notre science. Mais puisque M. Coquand déduit de sa classification du calcaire rouge une conséquence très importante et qui ne me paraît point exacte, je crois devoir examiner les arguments sur lesquels il s'appuie. — Voilà le raisonnement de M. Coquand : « Si le calcaire rouge à ammonites représente en Italie le lias in-
» férieur, on doit regarder comme dévonien ou silurien le calcaire
» cristallin de Carrare et de Campiglia, tandis que les schistes
» également cristallins qui le supportent appartiennent au terrain
» cambrien (1). » Notre confrère trouvera bien peu de géologues qui voudront partager son opinion. Je suis parfaitement d'accord avec lui quant à la discordance de stratification bien évidente qu'on observe en Toscane entre le calcaire rouge ammonitifère et les calcaires saccharoïdes, et comme lui je ne peux adopter l'opinion de quelques uns de nos confrères qui doutent de cette disposition transgressive ou qui ne lui accordent point l'importance qu'elle mérite. Mais je ne saurais aucunement admettre que le *hiatus* chronologique qui existe entre ces deux formations soit aussi grand qu'il le pense. Il suffit de suivre le passage du marbre de Carrare au calcaire brun de la vallée de la Tecchia renfermant des fossiles tout à fait identiques à ceux qu'on trouve dans le calcaire de même couleur de la vallée d'Esino en Lombardie qui est placé dans la même position, pour acquérir la conviction que les marbres statuaires des Alpes apuanes, les calcaires saccharoïdes de Campiglia, et la rauchwacke de la Toscane, ne peuvent absolument être classés dans le lias inférieur. — Les anagénites et les schistes cris-

(1) *Bull. de la Soc. géol. de France*, 2e sér., t. II, p. 165 et suivantes.

BRITISH MUSEUM
G22 SD
NATURAL HISTORY

Notices de M.M. PILLA et DE' VECCHI,

sur le calcaire ammonitifère rouge de l'Italie.

Fig. 1

Fig. 2

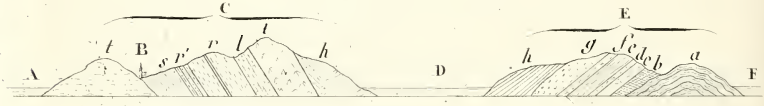


Fig. 3

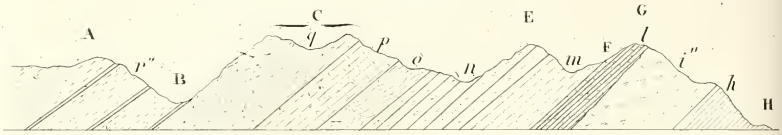


Fig. 4

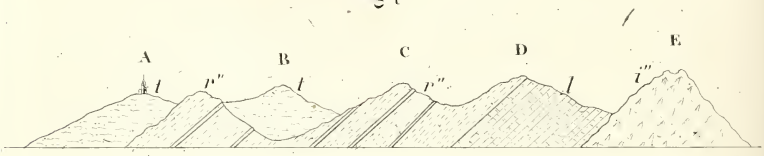


Fig. 5

Fig. 6

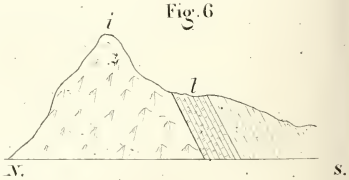
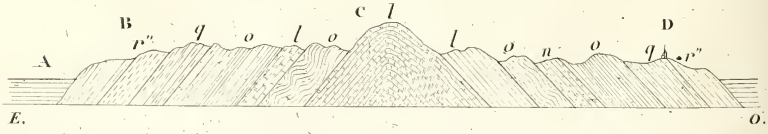


Fig. 7



tallins qui supportent en stratification concordante ou discordante les marbres statuaires et les rauchwackes des Alpes apuanes, ne renfermant point de fossiles, forcent le géologue à une grande réserve. Leur âge ne saurait donc être déterminé pour le moment avec quelque certitude. Nous attendrons de nouveaux faits qui permettent d'éclaircir cette question.

Conclusion. — C'est un grand pas pour la science que d'être parvenu à bien distinguer en Italie le jura du lias. Il reste à déterminer avec précision les différentes séries de ces formations ainsi qu'on l'a fait pour le nord de l'Europe. Pour obtenir des divisions *naturelles*, les seules qui puissent être acceptées comme un avancement dans la science, il faudra les déterminer à l'aide de caractères géologiques et paléontologiques bien discutés. En attendant, d'après les faits qui nous sont connus, nous pouvons affirmer : 1° que le calcaire rouge à ammonites nous offre un horizon géognostique précieux pour les dépôts du lias et du jura du midi de l'Europe, et que cette formation appartient au jura inférieur ; — 2° que les calcaires noirs fossilifères, les rauchwackes, et les marbres cristallins inférieurs au calcaire rouge, appartiennent au lias ; — 3° que les dépôts de calcaires marneux à ammonites qui lui sont superposés peuvent être rapportés au jura supérieur (1).

Explication générale des coupes.

Fig. 1. Montagnes de la Brianza, près du lac de Como.

A Valsassina,
B Grigno du nord, ou mont Godeno,
C Grigno du sud,
D Lac de Lecco,
E Cornes de Canzo,
F Craie.

---

(1) J'avais déjà écrit ce Mémoire lorsque M. Vecchi m'a communiqué plusieurs observations importantes qu'il a faites dans une localité de Toscane encore inconnue des géologues, au mont Cetona, dans le Siennois. M. Vecchi y a vu une série de couches jurassiques absolument pareilles à celles que j'ai décrites sur divers points de la Toscane, et dans lesquelles il a été assez heureux pour rencontrer des fossiles qui viennent confirmer les conclusions que je viens de prendre, et répandent la lumière sur différents dépôts de la Toscane, sur lesquels on avait été très incertain jusqu'à ce jour. Je crois bien faire en donnant ci-après le travail de M. Vecchi ; j'y ai ajouté quelques notes, qui serviront à expliquer la classification que j'ai faite des couches du Jura et liasiques de l'Italie.

Fig. 2. *Montagnes du golfe de la Spezia.*

A Mer Méditerranée,
B Campiglia,
C Montagnes occidentales de la Spezia,
D Golfe de la Spezia,
E Montagne orientale de la Spezia,
F Rivière Magra.

Fig. 3. *Montagnes de Vecchiano et de Massaciuccoli, près de Pise.*

A Montagne de Massaciuccolo,
B Embouchure de P. à Padula,
C Montagnes de Legnaja,
E Montagne de Bastione,
F Paduletta,
G Montagne de Bruceto,
H Vallée du Serchio.

Fig. 4. *Montagnes de Campiglia, dans les Maremmes.*

A Campiglia,
B Montagne de Campiglia Vecchia,
C Montagne des Schienali,
D Cime du Gabbro al Fico,
E Cime du Cerro Crociato.

Fig. 5. *Vallon de Fucinaja, près de Campiglia en Maremme.*

Fig. 6. *Montagne de Cetona, dans le Sienois.*

Fig. 7. A Marnes subapennines,
B Conicchio,
C Le Petraje,
D S. Casciano de' Bagni.

Couches inférieures au lias.

a. Schistes cristallins;
b. Calcaire gris sub-lamellaire;
c. Calcaire blanc saccharoïde;
d. Anagénite siliceuse et calcaire;
e. Aphanite métamorphique;
f. Calschiste cristallin;
g. Agénite quartzeuse (Verrucano).

Couches du lias.

Inférieur. *h.* Calcaire brun, non siliceux, à bivalves (avec *A. Bucklandi*, au lac de Como).

Supérieur. *i.* Dolomie;
i'. Calcaire cristallin;
i''. Calcaire compacte ou celluleux (*rauchwacke*) avec fossiles turriculés.

Couches du Jura.

Inférieur. *k.* Calcaire gris avec silice; dans d'autres endroits, parallèle à une oolithe avec Pentacrinites;
l. Calcaire rouge ammonitifère;
v. Majolica;
m. Schistes avec fucoïdes;
n. Calcaire brun avec silex (oolithe à Cetona);
o. Schistes siliceux bigarrés;
p. Majolica avec silex;
q. Calcaire gris avec silex.
Supérieur. *r.* Schistes calcaréo-marneux avec Ammonites;
r'. Schistes calcaréo-marneux avec *Posidonia liasina;*
r''. Schistes calcaréo-marneux sans fossiles (à Cetona, on y voit l'*A. serpentinus*);
s. Schistes siliceux bigarrés (*galestri*);
t. Macigno.

1° L'ordre de superposition des couches est en partie réel, en partie théorique.

2° La série des couches inférieures au lias, de celles du lias et du Jura inférieur jusqu'à *l* est réelle.

3° La série des couches jurassiques inférieures de *l* à *q* et des couches jurassiques supérieures est théorique en partie.

4° Les couches *i*, *i'*, *i''* sont absolument synchroniques. Les couches *r*, *r'*, *r''* sont supposées synchroniques.

5° Quelques couches se reproduisent dans différentes positions, au milieu des séries. De ce nombre sont : *l*, *l'*, *o*, *p*, *s*.

Voici maintenant l'extrait d'un Mémoire de M. Vecchi, que M. Pilla a joint à son travail; nous regrettons que le défaut d'espace ne nous permette point de le reproduire en entier.

Notice géologique sur la montagne de Cetona, par M. Ezio De' Vecchi.

La montagne de *Sarteano* ou de *Cetona* forme un pic isolé au milieu du pays sub-apennin à collines ondulées qui l'environne. Les pentes se rallient au sud et au nord avec les collines de S. Casciano et de Chianciano, qui sont alignées dans cette direction et

qui vont se réunir aux collines sub-apennines, près de Montepulciano; à l'E. et à l'O. elles tombent avec une forte inclinaison et ne paraissent pas se joindre aux terrains qui les entourent — Cette montagne se compose de couches calcaires, de schistes et de phtanites que quelques espèces d'ammonites que nous y avons trouvées font classer à première vue dans la période jura-liasique. — Mais il n'est pas aussi aisé de préciser davantage les formations jurassiques auxquelles ces nombreuses couches correspondent. Nous mettrons à profit pour cela la présence de quelques couches connues dans d'autres localités, et qui vont nous servir d'horizon géognostique. — Nous y trouvons d'abord un calcaire marneux renfermant des bandes de silex, et qui est souvent rougeâtre. C'est là le même *calcaire rouge ammonitifère* qu'on voit près de Como, et dans différentes localités de la Toscane, et qui est du Jura supérieur pour M. de Buch, du lias inférieur pour M. Coquand, et du terrain jurassique inférieur pour M. Pilla. — On y reconnaît en deuxième lieu ce même *calcaire compacte ou celluleux à fossiles turriculés* indéterminables qu'on rencontre à Vecchiano et à Spelonca, et qui, se trouvant là à la partie inférieure des montagnes Pisanes, fait passage aux marbres de Carrare et de Serravezza. M. Coquand regarde ce calcaire comme inférieur au lias; pour MM. Savi et Pilla, il ne sortirait point de cette formation. M. Pilla a même prouvé dernièrement son parallélisme avec le calcaire du mont Godeno, près du lac de Como, où il est associé au calcaire brun liasique et aux dolomies, et où il se trouve dans la même position qu'en Toscane, au-dessous du calcaire rouge ammonitifère et sur le Verrucano. — Ce dernier calcaire occupe une grande étendue dans le pays qui nous concerne. Très puissant, car il constitue la plus grande partie de la masse, et en quelque sorte le noyau de la montagne, on le voit former l'escarpement à peu près vertical appelé *delle Ripe* qui la limite à l'ouest, et qui marche en ligne droite du N. au S. sur la longueur d'environ une lieue; on le rencontre encore dans les collines de Spineto et de Sarteano, et jusqu'auprès de Cetona. Il est gris clair, très souvent compacte, et il renferme çà et là quelques lits d'argile ferrugineuse, mais on n'y voit point de silex. On y trouve également des cristaux de quartz brun, bi-basique, tri-hexaèdre ou dodécaèdre, connus sous le nom de cristaux de Chianciano, et que M. Pilla rapproche de ceux qui se trouvent dans le marbre de Carrare. Plusieurs parties de ce calcaire sont formées d'une dolomie blanche, saccharoïde, qui ordinairement n'est pas très solide et qui s'égrène facilement, mais dont la compacité atteint quelquefois un degré qui a permis de s'en

servir comme de marbre (1), ce qui est une nouvelle preuve de l'âge de notre calcaire; car il est clair pour nous que l'association des cristaux de quartz et des parties magnésiennes avec ces calcaires est due à ces actions métamorphiques que M. Pilla, en établissant la contemporanéité des calcaires compactes à fossiles turriculés, des cargneules, des dolomies et des marbres statuaires dans la Toscane, a démontré avoir agi sur notre lias à une époque antérieure au dépôt des couches jurassiques (2). Ajoutons que le calcaire en question n'est point stratifié, et qu'il offre cette apparence de ruines qui rend si remarquables les dolomies classiques du Tyrol (3). A *le Ripe*, des masses puissantes de travertin s'appuient contre ce calcaire, et près de Cetona il est recouvert par des couches alternantes de molasse et de marnes sub-apennines en stratification horizontale. — Les roches stratifiées qui sont superposées au calcaire que nous venons de décrire viennent affleurer l'une après l'autre à partir de Cetona, sur la route de Celle. Cette route traverse la montagne en suivant à peu près la circonférence d'un cylindre vertical; le point culminant d'où la route redescend vers Celle est en même temps une ligne anticlinale géologique où les couches les plus anciennes affleurent sous forme d'un arc-boutant, sur les deux flancs duquel viennent se placer par degrés les plus modernes. C'est une de ces croupes dues à une action soulevante quelconque, d'où les terrains supérieurs fracturés ont été enlevés, et qui sont si communes en géognosie. — A partir du pied de la montagne du côté de Cetona, et des plus récents, la succession des dépôts stratifiés dont il s'agit, qui se reproduit doublement des deux côtés de l'axe est la suivante : — 1. *Marnes sub-apennines* (Cetona, ferme du Morrone). — 2. *Calcaire marneux gris* bien stratifié, avec quelques bandes schisteuses et argileuses. — (Conicchio). — 3. *Schistes bigarrés* rouges, gris, ou verdâtres, passant insensiblement au précédent, et alternant bientôt avec le suivant. — 4. *Calcaire gris sub-lamelleux* q, avec silex, ordinairement bien stratifié, mais devenant quelquefois compacte et massif. — 5. *Massif schisteux* o, très puissant, alternant avec des bandes siliceuses ou de phtanite. — 6. *Calcaire*

---

(1) Le groupe de la *Pietà* du dôme d'Orvieto paraît en être formé.

(2) *Breve cenno sulla ricchezza minerale della Toscana*, par M. Pilla.

(3) La fig. 6 représente la coupe N.-S. de la montagne. — i'', calcaire celluleux et dolomie formant le cône de Cetona. — l, formations stratifiées qui le recouvrent.

rougeâtre l, avec de nombreux lits de silex, très bien stratifié, renfermant un massif phtanitique subordonné, et composé de couches siliceuses colorées en rouge et en vert et très contournées. Ce calcaire renferme plusieurs ammonites enclavées dans la roche, et entre autres l'*A. tatricus* caractérisant le *calcaire rouge ammonitifère* et l'époque jurassique, une ammonite qui paraît être l'*A. heterophyllus*, et quelques autres parmi lesquelles M. Pilla a reconnu l'*A. Conybeari*, l'*A. tortilis* et à l'*A. Braunianus*. Ce dépôt forme le sol de la ligne anticlinale et redescend ensuite avec une déclinaison opposée pour replonger sous les formations supérieures que nous venons de quitter. — En redescendant on revoit d'abord le calcaire rouge ammonitifère avec l'*A. tortilis l*, puis la masse phtanitique *o* qui, comme précédemment, lui est subordonnée, et le calcaire *n* avec des parties oolithiques et quelques fucoïdes mal conservés, et plus tard les schistes rouges et gris *o*, et les couches calcaires *q*, sur lesquelles est bâti le village de *S. Casciano de' Bagni*.—Si l'on quitte alors la route de Celle, et que l'on s'enfonce dans une espèce de ravin appelé le *Botro di monte Santo*, à l'O. de Casciano, on rencontre un calcaire marneux gris, sans silex, avec des bandes argileuses dans lesquelles j'ai trouvé plusieurs ammonites que M. Pilla a reconnues appartenir à l'*A. serpentinus*. Or, ce calcaire est par sa position et par ses caractères minéralogiques le même que celui de Conicchio *r''* (1). — Les dépôts que nous venons d'énumérer passent l'un à l'autre; ils sont reliés par les bandes

---

(1) La découverte de l'*A. serpentinus* dans les couches supérieures aux phtanites, qui sont associées au calcaire rouge ammonitifère, est un fait de la plus grande importance pour la classification de la série jurassique en Toscane; car si l'on compare ces couches de la montagne de Cetona, que M. Vecchi vient de nous faire connaître (fig. 7), avec celles que j'ai décrites dans les montagnes de Vecchiano (fig. 3), il est impossible de ne pas reconnaître leur parfaite analogie. Dans l'un et dans l'autre endroit, on a au-dessus du calcaire compacte et des rauchwackes *i''* : — 1° le calcaire ammonitifère *l*; — 2° les phtanites *o*; — 3° le calcaire gris à silex *q*; — 4° le calcaire marneux sans silex *r*. — Or, puisque M. Vecchi a trouvé dans ce dernier l'*A. serpentinus*, il est dès lors mis hors de doute que toutes les couches que j'ai indiquées dans les montagnes de Vecchiano (fig. 3) appartiennent à la série jurassique et non à la craie inférieure, ce que j'avais déjà déduit, même sans l'auxiliaire des fossiles, par la comparaison minéralogique des couches de Vecchiano avec celles de la Spezia, et par leur position identique. (Voyez mon travail sur le *Terreno etrurio*, p. 28 et suiv.)

(*Note de M. Pilla.*)

schisteuses et phtanitiques communes à tout ce système, et leur stratification est parfaitement concordante et inclinée des deux côtés de la ligne anticlinale qui se dirige du N. au S. — On peut donc admettre qu'ils ont tous été déposés dans une seule et même période, pendant laquelle les conditions géologiques se sont maintenues invariables. Si nous partons donc du point de vue de M. Pilla, qui pense que le calcaire à *A. Tatricus* correspond à l'étage jurassique inférieur, et que nous songeons à l'*A. serpentinus* du calcaire de Conicchio et de Monte Santo, toute notre série sera parfaitement caractérisée, car celui-ci appartenant au jura supérieur, les masses schisto-phtanitiques, calcaires et oolithiques qui le réunissent au calcaire ammonitifère viendront se placer naturellement dans le jura moyen. — La question ainsi posée se trouve réduite au même point où l'on en est à l'égard de l'âge des montagnes Pisanes, de la Spezia, de Como, etc., dans la discussion duquel je n'entrerai point (1).

M. Pomel lit la note suivante :

Note sur un nouveau Pachyderme du bassin de la Gironde (*Elotherium magnum*), par A. Pomel.

Le catalogue des mammifères fossiles s'étend tous les jours de plus en plus, et il n'est pas de localité où l'on ne puisse espérer rencontrer encore quelque type nouveau de cette ancienne création, dont on a en si peu de temps exhumé un si grand nombre de débris. En effet, malgré les persévérantes investigations de M. Lartet et de plusieurs autres paléontologistes, les terrains tertiaires du bassin de la Gironde fournissent encore aux recherches

(1) Je crois cette question résolue par la comparaison que j'ai faite des couches jura-liasiques du lac de Como, de la Spezia et de la Toscane. Dans toutes ces localités, on a deux points de repère communs par leurs caractères minéralogiques, par leurs fossiles et par leur position relative ; ce sont : 1° le *calcaire noir à fossiles jurassiques*, associé aux calcaires gris compactes, aux cargneules et aux dolomies, — 2° le *calcaire rouge ammonitifère*. Au-dessus de ce dernier calcaire, nous avons, en Toscane, une succession de couches jurassiques qui manquent en Lombardie, ou qui ne sont représentées dans ce dernier pays que par la *majolica*. Ces couches renferment les phtanites de nos contrées, les schistes à Ammonites de la Spezia et de Cetona, et elles constituent la partie supérieure de tout le système.

(*Note de M. Pilla.*)

des naturalistes des animaux nouveaux, dont celui que nous faisons connaître aujourd'hui n'est pas un des moins remarquables par les singuliers caractères qu'il présente. Nous en devons la communication à M. Luce, qui malheureusement n'en connaît le gisement que d'une manière très vague.

Les arrière-molaires au nombre de trois sont un peu trop usées pour que nous puissions y reconnaître d'une manière précise la forme de la couronne. La première, surtout, ne présente plus qu'une large surface de trituration échancrée des deux côtés par les restes d'une vallée transversale, plus profonde en dedans qu'en dehors. La seconde, moins usée, présente deux collines qui paraissent avoir été formées de deux gros tubercules lisses, assez peu séparés, les deux postérieurs ayant déjà confondu leurs disques d'usure de manière à ne présenter qu'une faible trace de leur division. La moitié postérieure, évidemment plus basse, a son tubercule interne plus petit, et sa dentine, mise à nu par la détrition, forme un cercle qui devait bientôt se confondre avec le disque d'usure du tubercule opposé pour dessiner une figure trilobée. Celui-ci doit avoir été très large et s'être étendu un peu autour du tubercule interne, car la surface de détrition produit de ce côté deux lobes très prononcés. La partie antérieure de la dernière molaire est semblable à celle de la précédente; mais la postérieure, qui nous est malheureusement mal connue, a une forme assez différente et très curieuse; elle est formée d'une sorte de large talon bas, circulaire, qui ne présente à la couronne qu'une surface creuse de dentine entourée d'une bande d'émail. Elle est sensiblement plus petite que la partie correspondante de la molaire qui la précède.

Les avant-molaires sont certainement au nombre de trois au moins, et peut-être de quatre. Mais la première ne nous serait pas même, dans ce cas-ci, connue par son alvéole, dont il est impossible de constater la présence à cause du mauvais état de l'os; toutefois elle ne peut qu'avoir été portée par une seule racine implantée assez près de la canine, et immédiatement en avant de la seconde dont nous ne connaissons de même, ainsi que de la troisième, que la partie radiculaire. La dernière fausse molaire est une dent épaisse portée par deux grosses racines, un peu divergentes, formée d'une couronne conique à peine comprimée latéralement et obtuse qui se dirige un peu en arrière, et se termine de ce côté par un talon épais entouré d'un bourrelet d'émail. Les seconde et troisième fausses molaires doivent avoir eu une forme à peu près semblable, sauf pour la grosseur du talon, et leur grandeur ne paraît pas avoir été beau-

coup moindre; car leurs racines sont épaisses et au nombre de deux disposées comme dans celle que nous connaissons entière. Il reste encore toute la partie radiculaire d'une grosse dent qui paraît être la canine. Malheureusement nous n'en connaissons pas autre chose; mais cette partie indique une dent très forte, fusiforme, c'est-à-dire atténuée dans sa racine comme dans sa couronne et à coupe presque elliptique, sans trace de carène au sillon. Le bord incisif est très élargi transversalement; mais il ne nous a montré aucune trace d'alvéoles à cause de son mauvais état. Toutefois ces dents ne peuvent avoir eu que de petites dimensions, au moins dans leur épaisseur. Les branches de la mâchoire sont assez divergentes, et leur symphyse, très élargie de manière à former une sorte de large canal en dessus, ne présente plus de traces de la suture.

D'après ces caractères il ne nous paraît pas douteux que notre animal ne doive être rangé dans la famille des pachydermes à doigts pairs, ou, pour mieux dire, des cochons et des hippopotames; par l'élargissement de son bord antérieur il se rapproche de ces derniers, de même que par la forme de ses arrière-molaires, quoique celles-ci soient beaucoup plus simples; par ses avant-molaires il rappelle un peu les anthracothérium; mais la canine et surtout la dernière molaire ne trouvent aucune analogie dans cette famille, où celle-ci, loin d'être réduite dans sa partie postérieure, se complique au contraire d'une troisième partie en forme de talon tuberculeux. C'est l'inverse de ce que nous voyons dans l'autre famille de pachydermes, ceux à doigts impairs, qui, dans la faune vivante, ont la dernière molaire plus ou moins semblable à celle qui la précède, tandis que dans les faunes fossiles ils ont eu cette dent compliquée par une troisième partie. Notre animal est aux hippopotames ce que les tapirs et les rhinocéros sont aux lophiodon et aux paléotherium.

M. le secrétaire donne lecture de la communication suivante de M. le docteur Canat.

Quelques observations concernant le terrain lacustre de la Bresse, par M. le Dr J. Canat.

Ce terrain s'étend, comme on sait, sur la rive droite de la Saône, et sur la rive gauche au nord du Doubs, bien au-delà des limites du pays de Bresse dont il emprunte son nom. Les plaines du Châlonnais qui en font partie sont de vastes plateaux bien ni-

velés, interrompus par de longues tranchées sinueuses qui forment les bassins des rivières. La hauteur de ces plateaux au-dessus de la mer est très uniformément de 200 à 210 mètres, d'après les cotes de hauteur de la carte du dépôt de la guerre (feuille 137). On voit ces cotes descendre entre 190 et 200 mètres, au nord vers le Doubs; elles s'élèvent un peu au sud et à l'est, vers les limites de la Bresse châlonnaise, où quelques unes atteignent 215 à 220 mètres. Ce sont les indices du relèvement presque insensible de tout ce terrain vers les Alpes (1).

Une dépression brusque de 10 à 15 mètres permet de distinguer, dans le voisinage de la Saône, un plateau inférieur formant une zone courbe allongée du nord au sud, large d'environ 8 kilomètres, et qui est bien reconnaissable à un myriamètre au nord et au sud de Châlon : ses bords passent d'un côté par Farges, la montée du Maupas, Taisé; de l'autre par Alleriot, Châtenoi en Bresse, les bois de Lan. Le bassin de la Saône y est compris. Le bord de ce bassin et le bord de la dépression se confondent à Alleriot.

La Saône qui n'a que 250 mètres d'un bord à l'autre coule dans un bassin dont la largeur est de 3 ou 4 kilomètres auprès de Châlon. La largeur du vallon d'un mince filet d'eau comme la Thalie atteint un kilomètre. Les eaux des rivières dans leurs inondations couvrent le fond de ces tranchées naturelles, et l'élèvent lentement par leurs alluvions qui s'étendent en prairies admirables. Le large fossé qui renferme les prairies de la Saône n'a que 12 ou 15 mètres de profondeur au-dessus des alluvions, dont l'épaisseur est de 4 à 5 mètres : dans les plateaux supérieurs, la profondeur des bassins est au plus de 25 mètres.

Les dimensions des bassins augmentent généralement dans le sens du cours des rivières. Leurs bords, ou les côteaux parallèles qui terminent les plateaux, sont soumis à une loi qui les assimile à d'anciennes berges façonnées par de puissants courants, c'est-à-dire que dans les sinuosités du bassin le côteau est toujours fortement incliné aux endroits où la courbe est rentrante, et qu'il est en pente douce à l'opposé. En effet, dans tous les cours d'eau permanents ou accidentels le courant qui va en se réfléchissant d'une rive à l'autre, dans les parties sinueuses, entame la berge du côté concave où il vient se heurter et la rend abrupte, tandis que la rive opposée se forme en talus plus ou moins incliné. Le bassin de

(1) Une hauteur exceptionnelle de 227 mètres correspond aux bois de Lenan sur la rive droite de la Saône.

la Saône offre un exemple de cette disposition à la hauteur de Châlon, où il décrit une grande courbe : à l'ouest, du côté de la concavité, ses bords sont constitués par les côteaux de Crissey, de Saint-Jean-des-Vignes, de la citadelle à Châlon, de Saint-Cosme, Saint-Remy et Lux, qui ont une inclinaison prononcée d'environ 12° ; des pentes très douces, au contraire, bordent les prairies du côté opposé vers Saint-Marcel. Les bassins de la Dheune, de l'Orbin, de la Grosne, de la Seille présentent les mêmes caractères.

La dénudation des côteaux par des ravinements laisse apercevoir çà et là les tranches des couches argileuses ou sableuses parfaitement horizontales, qui forment tout le sol de la contrée. Les alluvions reposent ordinairement sans intermédiaire sur les couches lacustres dont les parties supérieures ont été enlevées. Celles de la Saône sont supportées par une argile d'un gris bleuâtre, et quelquefois par une couche argilo-sableuse jaunâtre supérieure à la première. J'ai reconnu ces couches sur une longueur de 4 myriamètres. Elles font des saillies inégalement découpées dans les berges. C'est le fond même du bassin que les alluvions ont nivelé. Quelquefois, comme dans le vallon de l'Orbin, des dépôts tourbeux paraissent avoir commencé ce nivellement. La berge droite de la Saône, au-dessus de Châlon, près de la chaussée Romaine qui conduit de la rivière à Crissey, est constituée dans presque toute sa hauteur par une masse sableuse grossière étrangère à l'alluvion : cette même masse sableuse forme, dans la prairie voisine, des monticules et des amas allongés élevés de 1 ou 2 mètres. Ce sont les restes d'une couche dont la partie supérieure a été enlevée dans le creusement du bassin par les eaux, ou bien c'est une espèce de *diluvium* abandonné par ces eaux en mouvement. Nulle part, d'ailleurs, excepté peut-être auprès des montagnes, comme à Chagny, on ne trouve au-dessous des alluvions, le dépôt de transport composé de sables, graviers ou galets, analogue à celui que charrient les rivières et qu'elles étendent sur le fond de leur lit.

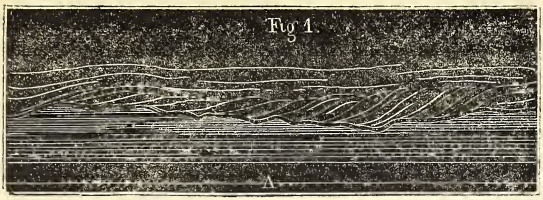
Ce ne sont donc pas des cours d'eau permanents qui ont occupé les bassins. Ces longues vallées d'érosion ont dû être produites par un événement subit, tel que le déversement du lac de la Bresse par suite du soulèvement de son fond, ou de la rupture de ses digues au midi. Ce seraient les rigoles d'écoulement que ces masses d'eau auraient creusées en labourant le fond du lac dans leur retraite.

La dépression en forme de zone courbe allongée, voisine de la Saône, paraît être aussi le résultat d'une érosion produite par le

déplacement d'une nappe d'eau. Elle est bornée en effet du côté concave par un côteau assez rapide qui règne d'une manière continue depuis Farges jusqu'auprès de Seuvrey, et qui est bien figuré sur la carte du dépôt de la guerre ; du côté convexe, au contraire, le plateau inférieur passe au plateau supérieur par une pente peu sensible.

Un sondage artésien pratiqué dans le bassin de la Saône à Châlon, et poussé à 159 mètres, n'a traversé que des argiles et des sables. Le terrain des plateaux supérieurs est particulièrement formé d'une argile blanchâtre, médiocrement fertile, dite terrain blanc ou terrain des bois. Le terrain caillouteux, dont a parlé M. Élie de Beaumont, ne se développe qu'au sud de la Seille dans le département de l'Ain. Il s'en trouve, sur une petite étendue, au nord-est de l'îlot jurassique de Lacrot près Tournus; et il est à remarquer que les gros galets de quartz que l'on voit dans cet endroit ne peuvent pas provenir des montagnes voisines qui sont toutes jurassiques.

Plusieurs tranchées ont été ouvertes récemment sur la rive droite de la Saône pour les travaux du chemin de fer de Dijon à Châlon. Celle de Saint-Cosme a traversé, sur une profondeur de 10 mètres, une sorte de promontoire dépendant du plateau inférieur, qui sépare le bassin de la Saône de celui de la Thalie près de leur jonction. Elle présente la coupe de trois couches de terrain s'étendant horizontalement d'un bassin à l'autre, savoir : une couche supérieure argileuse jaunâtre qui contient des nodules calcaires et des grains ferrugineux; une couche moyenne sableuse à lits ondulés et imbriqués, et inférieurement une marne bleuâtre ou verdâtre, très effervescente, compacte, un peu feuilletée, à lits minces séparés quelquefois par du sable fin et du mica. Les deux couches supérieures passent l'une à l'autre. La marne bleue, avant leur dépôt, avait éprouvé des érosions, ce qu'indiquent clairement les inégalités de sa surface. Les saillies et les enfoncements qu'elle présente sont encroûtés d'une couche d'argile ferrugineuse de 20 ou 30 centimètres (fig. 1).

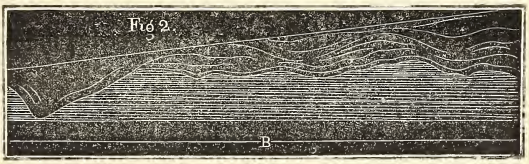


Echelle : Hauteur 3 millimètres } pour mètre.
Longueur 2 id. }

A. Niveau des alluvions de la Saône.

La marne bleue de la tranchée paraît reposer sur une couche argilo-sableuse, déjà mentionnée, supérieure à l'argile grise du pied des berges de la Saône. Ces deux dernières couches lacustres ont été bien vues dans les travaux récemment exécutés à l'embouchure du canal du Centre. C'est la même argile grise, suivant toute apparence, qui a été rencontrée au-dessous des alluvions de la Thalie dans les travaux du nouveau pont.

La coupe du côteau de Saint-Cosme (fig. 2) (1) fait voir comment



Echelle : Hauteur 3 millimètres } pour mètre.
Longueur 2 id. }

B. Niveau des alluvions de la Saône.

les couches sont interrompues par les bassins. Une excavation de la marne bleue terminée par une coupure presque droite témoigne de la puissante force d'érosion qui a creusé celui de la Saône, et fait comprendre comment ce côteau n'est qu'une berge taillée d'abord d'une manière abrupte, dont les lignes ont ensuite été adoucies par l'usure de la partie supérieure et la formation d'un talus au pied.

La tranchée de Corcelles est ouverte dans une couche argileuse qui est évidemment la continuation de la partie supérieure du terrain de Saint-Cosme : ces deux endroits ne sont éloignés que de

(1) Elle est très oblique à la ligne de plus grande pente du coteau.

2 kilomètres. Les tranchées de Forges et de Chagny sont dans le plateau supérieur; elles ont traversé des argiles blanchâtres avec grains ferrugineux abondants et des sables inférieurs. Dans la tranchée de Corpeau, au pied des montagnes jurassiques de la Côte-d'Or, on remarque des amas irréguliers de galets calcaires.

Les coquilles suivantes ont été trouvées à Saint-Cosme.

Lymnæus palustris (sables de la tranchée, argile grise du pont de la Thalie).

L. auricularis (argile grise du pont).

Planorbis marginatus (sables, argile grise).

P. vortex, variété B (sables).

Succinea amphibia, *S. elongata* (sables, argile grise).

Paludina vivipara (tranchée, couches supérieures).

P. impura (argile grise du pont).

Valvata piscinalis (marne bleue et sables de la tranchée; argile grise du pont).

Cyclas palustris (argile grise).

C. cornea (sables).

Ces coquilles d'eau douce sont de l'époque actuelle suivant M. d'Archiac qui a bien voulu les examiner. Par là on doit entendre probablement qu'elles appartiennent à une des dernières époques géologiques. Il paraît être difficile en effet ou impossible de différencier de leurs analogues vivants plusieurs coquilles d'eau douce des époques tertiaire ou diluvienne. C'est ce que M. Deshayes déclare, par exemple, relativement au *Lymnæus palustris:* il en a comparé à diverses reprises les variétés soit vivantes soit fossiles et leur a toujours trouvé une parfaite ressemblance (*Encyclopédie méthodique*, 1830).

On a trouvé des ossements fossiles en petit nombre dans les tranchées de Saint-Cosme, Corcelles et Farges, et en grande quantité dans la couche de sable inférieure de la tranchée de Chagny. Ceux de ces objets qui n'ont pas été dispersés restent provisoirement entre les mains des employés de l'administration des ponts et chaussées. La plupart n'ont pas été déterminés. On y reconnaît des restes nombreux d'éléphants et d'animaux du genre Cerf, un Rhinocéros, un Cochon, plusieurs espèces de Bœuf, un Cheval.

Des fragments de dent d'un Mastodonte trouvés dans la tranchée de Corcelles ont été soumis à M. Pomel qui avait bien voulu déjà examiner quelques os de Renne, Bœuf, Cheval et Cochon provenant des mêmes couches et de localités voisines.

Voici ce qu'il m'écrit à ce sujet:

« Je crois avoir reconnu dans les fragments de dent que vous

» m'avez adressés le Mastodonte à dents étroites; mais l'état de
» leur conservation rend très difficile, pour ne pas dire impossible,
» la détermination de l'espèce. Les Mastodontes jusqu'à ce jour
» paraissent propres aux terrains tertiaires moyens et supérieurs.
» Les *M. angustidens* et *arvernensis* sont de cette dernière époque;
» les *M. longirostris et tapiroïdes* sont de la première. Votre fossile
» peut appartenir au *Longirostris* ou à l'*Angustidens*. Si cette dent
» a été trouvée avec les fossiles que vous m'avez déjà communi-
» qués, je supposerais volontiers qu'elle a été transportée déjà
» fossile dans ce gîte; car je ne connais pas d'association pareille
» dans le *terrain diluvien*, auquel le Mastodonte, dans notre
» Europe, paraît normalement étranger. »

A ces dernières observations de M. Pomel je dois faire plusieurs objections :

Le terrain de la tranchée de Corcelles est une argile qui a été formée par la précipitation de matières fines tenues en suspension dans des eaux tranquilles ou peu rapides. Ces eaux n'auraient pu charrier isolément un corps dense comme l'est cette dent de Mastodonte. On ne voit pas dans la contrée un terrain tertiaire, plus ancien que le terrain de la plaine, d'où ce fossile aurait pu être entraîné. Quel que soit l'âge des terrains superficiels de la Bresse, ce n'est pas la première fois que des dents de Mastodonte y sont trouvées. Il existe à Châlon une dent de Mastodonte à dents étroites, recueillie par un propriétaire de la Bresse, près de Tournus, mais dont le gisement n'a pu être bien précisé. Il est fait mention, dans l'ouvrage de Cuvier d'une autre dent du même animal, qui fut trouvée à Trévoux dans un monticule de sable, et dans ce même terrain de la Bresse.

Une découverte tout à fait inattendue a été faite dans la tranchée de Saint-Cosme vers sa partie moyenne. On a rencontré, dans la couche de sable, à 5 mètres de profondeur, un de ces coins tranchants en pierre dure, armes ou ustensiles bien connus dont se sont servis les hommes primitifs vivant à l'état sauvage. Celui-ci, qui a 8 ou 9 centimètres de longueur, a été fait d'un morceau de diorite compacte artistement usé d'un côté. Le taillant en est très aigu et très régulier. Je l'ai fait dessiner afin que son authenticité comme œuvre de l'industrie humaine ne puisse paraître douteuse à personne (1). Cette découverte qui a fixé à juste titre l'at-

(1) Le dessin de M. Canat était si parfaitement identique avec les autres pierres de ce genre, communes dans les collections, qu'on n'a pas cru devoir le reproduire.

tention de l'ingénieur du chemin de fer a été de ma part le sujet d'une enquête minutieuse faite sur les lieux : c'est bien dans un terrain vierge de tout remaniement que cet objet a été trouvé. On a dû comprendre, par ce qui précède, que ce terrain n'a rien de commun avec les alluvions de la Saône ou de la Thalie.

Le terrain lacustre de la Bresse est classé par M. Élie de Beaumont comme appartenant à la troisième période de l'époque tertiaire, ce qui est la conséquence de son relèvement sur le flanc des Alpes principales. Pour M. Rozet le terrain lacustre tertiaire ne commencerait qu'à la couche d'argile grise que l'on voit au pied des berges de la Saône; les couches supérieures appartiendraient à la période dite diluvienne. Il est certain que cette dernière partie de son opinion trouve une confirmation heureuse dans la présence, au milieu de ces terrains, d'un objet de l'industrie humaine et de coquilles appartenant à une époque géologique très récente. Les érosions de la marne bleue inférieure de la tranchée de Saint-Cosme pourraient donner à penser que là peut-être existe la démarcation entre le terrain tertiaire et le terrain diluvien, si cette manière de voir n'était contredite par la distribution des fossiles dans les couches.

Le terrain caillouteux de la Bresse, qui est relevé sur le flanc des Alpes, serait-il plus ancien que le terrain d'argiles et de sables des plaines du Châlonnais? Le fond du lac aurait-il été d'abord immergé au sud à la fin de l'époque tertiaire, et la partie nord aurait-elle été comblée par des dépôts de la période suivante? Cette supposition ne paraît pas admissible quand on observe que le niveau si uniforme des plateaux dans la Bresse Châlonnaise se continue dans la Bresse Mâconnaise où commence le terrain caillouteux.

Il résultera au moins des faits qui ont été exposés que la race humaine a habité nos contrées avant la disparition de plusieurs grandes espèces animales. On était déjà porté à admettre qu'elle a existé en même temps que l'éléphant primitif, ce qui est confirmé. Sa contemporanéité avec le Mastodonte à dents étroites ne paraîtra guère douteuse. L'homme a certainement assisté à des événements géologiques qui ont changé la face de ces contrées, tels que le desséchement du lac de la Bresse, le creusement des bassins des rivières, l'établissement des cours d'eau actuels, et peut-être le soulèvement des Alpes principales, cause première de ces changements.

M. Michelin communique l'extrait suivant d'une lettre qu'il a reçue de M. Édouard Collomb, de Wesserling.

19 juin 1847.

« A propos de neige et de glace je viens de recevoir, du mont » Saint-Bernard, des nouvelles qui m'annoncent un fait météo- » rologique extraordinaire, et je m'empresse de vous le commu- » niquer, tout en vous garantissant la véracité de la personne qui » m'écrit. »

« En passant le Saint-Bernard j'ai été témoin des restes d'un phénomène qui a mis en émoi tout le pays ; il s'agit de *la neige jaune* qui est tombée dans les premiers jours d'avril, et qui existait encore au moment de mon passage. Cette neige avait une couleur *cannelle claire*. Je ne l'ai remarquée que sur le versant méridional de la montagne. La quantité tombée est d'environ 12 centimètres, mais au moment où j'ai passé elle était réduite à 3 centimètres. Le chanoine Carrel, qui habite près du mont Saint-Bernard, ne sait que penser de ce phénomène, et il dit que le même jour une pluie laiteuse est tombée à Chambéry.

Cette neige n'a aucun rapport avec la neige rouge, et elle était réellement *jaune* au moment de sa chute. Les paysans de la contrée se rappellent avoir observé le même phénomène dans l'année 1799. »

M. Michelin lit, au nom de M. Pierre Duchassaing, docteur médecin, au Moule (Guadeloupe), la notice ci-après, envoyée en janvier 1847.

Essai sur la constitution géologique de la partie basse de la Guadeloupe, dite la Grande-Terre.

L'île de la Guadeloupe est, ainsi que la plupart des Antilles, composée : 1° d'une partie montagneuse et volcanique ; 2° d'un plateau calcaire composé des dernières couches de sédiment reposant probablement sur une base de roches volcaniques. Cette opinion émise depuis longtemps a été discutée par M. Moreau de Jonnès.

Le plateau calcaire est appelé Grande-Terre, et la portion montagneuse est la Guadeloupe proprement dite.

Dans les Antilles, ainsi qu'il a été signalé par divers géologues, les terrains calcaires sont généralement situés à l'orient de la partie volcanique. A la Guadeloupe, ces deux parties sont assez bien

délimitées par ce qu'on appelle la rivière salée. Il ne faut pas croire cependant que toute la portion située à l'occident soit entièrement volcanique ; ce serait une erreur, car souvent on y trouve des lambeaux de terrains semblables à ceux de la Grande-Terre.

L'exposé que nous faisons aujourd'hui de quelques faits n'a pas pour but d'expliquer par des hypothèses la cosmogonie de nos îles qui ne pourra être entreprise que par de savants voyageurs, ayant beaucoup vu et ayant recueilli des observations nombreuses.

M. Moreau de Jonnès, dans son ouvrage sur les Antilles, a commis quelques erreurs dans la distribution des terrains. Tout en signalant les services qu'il a rendus à la science par une foule de faits bien analysés, nous pensons que notre travail ne sera pas dépourvu d'intérêt en donnant nos rectifications. Notre étude de la constitution géologique du pays, quelque imparfaite qu'elle puisse être, n'en aura pas moins son utilité, d'abord en donnant aux naturalistes une idée de sa constitution géologique, et ensuite en servant de clef pour aider à arriver à la connaissance des pays voisins, puisque tous les voyageurs sont d'accord pour trouver une grande analogie entre la composition géologique des diverses Antilles.

Une des choses qui nous a le mieux servi dans notre travail, c'est la fouille des puits destinés à fournir de l'eau aux usines à sucre que l'on vient d'établir. Nous avons pu y étudier la superposition de plusieurs terrains et y recueillir des fossiles très bien conservés, et notre surprise a été grande d'y rencontrer certaines espèces rappelant parfaitement le bassin Parisien. Nous signalerons entre autres une espèce de Lunulites assez abondante qui nous a semblé ne différer en rien de la *Lunulites umbellata* que nous avions trouvée aux environs de Paris, et une bivalve fréquente dans certaines couches, tout à fait semblable au *Pectunculus pulvinatus*. Enfin, parmi les Turbinolies plusieurs seront à rapporter à quelques unes des espèces des terrains les plus récents d'Italie et de France.

Le tableau suivant, distribué d'après la classification de M. Lyell, fera connaître l'ordre de superposition des terrains tertiaires.

Pliocène nouveau.	Alluvions, terrains détritiques. Formations madréporiques. Terrains des galibis ou anthropolithes.
Pliocène ancien.	Argile. Tuf blanc, ou calcaire à foraminifères.

Miocène. { Roches à ravets.
Sables volcaniques remaniés par la mer.
Tuf jaunâtre.

La série toute entière des terrains secondaires, de transition et primitifs ne s'offre nulle part. Les assises tertiaires reposent probablement sur des couches volcaniques semblables à celles qui forment la partie montueuse de l'île.

Formation madréporique.

Cette formation se présente le long des côtes, et ici se trouve une erreur à relever. Beaucoup de voyageurs, peu versés dans les sciences naturelles, ont appelé *madréporiques* les masses dont nous parlons, mais l'on se tromperait cependant si l'on croyait, d'après eux, que les récifs madréporiques sont seulement composés de zoophytes. Il y en a au contraire un grand nombre qui n'en renferment que peu, le surplus étant composé de certaines espèces de Serpules très fortes, entrelacées, formant d'énormes masses et entremêlées de nombreuses Balanes. Tout cela constitue des amas considérables dont quelquefois cependant les madrépores forment la portion principale.

Ces récifs dans quelques endroits de la Grande-Terre ont éprouvé un soulèvement très remarquable, et la conservation des corps organisés qui s'y trouvent constate bien qu'ils n'ont été ni roulés ni transportés. Les principales espèces de zoophytes qui y forment des masses assez considérables sont les *Astrea argus*, *pleyades et ananas*, *Meandrina gyrosa*, *cerebralis et areolata*, *Madrepora cervicornis et palmata*, etc.

Lorsque ce sont des polypiers branchus comme le *Madrepora cervicornis* et qu'ils sont fortement altérés, les habitants les désignent comme des branches d'arbres.

Les polypiers ci-dessus nommés, les coquilles terrestres et marines qui se trouvent empâtés dans ces récifs avec des débris d'autres animaux marins, appartiennent aux espèces les plus abondantes de la faune actuelle de la Guadeloupe.

Du reste, cette formation, étant contemporaine des roches qui renferment les Galibis ou Anthropolithes, mériterait à peine d'être distinguée, si des phénomènes différents ne concouraient à la création de chacune d'elles.

La formation madréporique consiste donc en dépôts littoraux s'appuyant sur des roches plus anciennes. En différents endroits

elle a subi des soulèvements de 2 à 3 mètres au-dessus du niveau de la mer, par suite desquels elle est hors des atteintes des plus hautes marées. Ce phénomène peut s'observer à la batterie du Moule, à l'Anse à l'Eau et en d'autres endroits de la côte Nord.

Formation des roches à Galibis.

Les Galibis sont les peuplades sauvages qui habitaient notre île avant que les Caraïbes ne s'en fussent emparés, et la croyance générale est que les ossements qui nous occupent appartiennent à la première de ces deux nations.

Ce terrain se distingue par un mode spécial de formation, mais toutes les roches qu'il faut y rapporter ne contiennent pas des débris humains. Les eaux pluviales descendent du haut des mornes qui dominent les plages marines. Elles filtrent à travers les couches calcaires et se chargent du carbonate de chaux qu'elles leur enlèvent; aussi forment-elles des stalactites dans les grottes où elles pénètrent, ainsi qu'on peut le voir dans les hauteurs du gîte des Anthropolithes du Moule. Etant arrivées sur la plage au moyen du carbonate de chaux qu'elles renferment, elles agglutinent les grains de sable et en forment une espèce de poudingue à grains très fins, et empâtant les divers objets qui s'y rencontrent. Cette consolidation se fait très rapidement, car nous avons trouvé au milieu des masses des tiges du raisinier (*Coccoloba uvifera*, L.), qui n'avaient subi aucune altération autre que le desséchement. C'est ainsi que les ossements de Galibis se trouvent conservés.

L'endroit le plus connu pour trouver des anthropolithes est situé près du bourg du Moule, sur les terres de MM. Morrel. Il paraît en exister d'autres que je n'ai pas visités.

L'origine moderne de ces dépôts n'est plus contestée depuis les détails donnés par Cuvier dans son discours sur les révolutions du globe. Qu'il nous soit permis cependant d'ajouter que parmi les ossements humains on a trouvé des débris de vases faits avec la même terre que celle employée aujourd'hui dans nos colonies pour fabriquer les poteries poreuses propres à faire rafraîchir l'eau. On y rencontre aussi les *Bulimus octonus et Guadalupensis* et des tiges de *Gorgonia flabellum*.

A la partie la plus supérieure de cette formation qui est aussi la plus récente, j'ai trouvé un *calcaneum* de chien, renfermant toute sa gélatine et un morceau de silex. Ces deux objets étaient empâtés dans la roche, et il a fallu le marteau pour les détacher; or,

les chiens et les silex ayant été introduits dans l'île par les Européens, tout tend donc à prouver l'origine moderne des ossements humains.

Cette formation continue à s'accroître; elle ne renferme plus d'anthropolithes, mais seulement des coquilles marines conservant en grande partie leurs couleurs. On en trouve de beaux exemples à la Pointe des Châteaux.

Terrain d'alluvion et argile.

Nous passerons rapidement sur le terrain d'alluvion déjà décrit et signalé par M. Moreau de Jonnès, et nous ferons seulement observer que l'on y trouve assez souvent l'Amphibulime capuchon (*Succinea cucullata*), fort rare aujourd'hui.

Sous l'alluvion est une couche argileuse sans fossiles et de peu d'épaisseur.

Tuf blanc ou roche à coquilles foraminifères.

Ce tuf dont on se sert dans le pays pour amender certaines terres est généralement d'une blancheur assez grande et d'une solidité médiocre. Il se reconnaît toujours en ce que la masse est presque entièrement composée de coquilles polythalames des genres *Miliola* et *Vorticialis*. C'est ce tuf blanc qui caractérise les sites du Moule, de Sainte-Anne, de Saint-François et du Morne à l'Eau, car c'est lui qui compose les mornes de ces différentes communes de la Grande-Terre, et qui forme leurs falaises escarpées. Il se retrouve aussi à la Guadeloupe proprement dite, dans la commune des Trois-Rivières, et près du chemin dit de La Gabarre. On doit probablement le rencontrer encore dans d'autres endroits.

Les coquilles que renferme ce tuf sont analogues pour la plupart à celles vivant dans les mers voisines, mais elles sont parfaitement pétrifiées, puisque leur coloration a complétement disparu, qu'elles ont perdu leur nacre et que les Echinodermes y ont pris la texture spathique. Une quantité prodigieuse de polypiers se trouve disséminée dans ce terrain, n'étant quelquefois représentés que par des moules ou empreintes, mais presque toujours analogues à ceux vivant actuellement. Il en résulte que l'animalité de cette époque était peu différente de celle d'aujourd'hui. Parmi les fossiles les plus fréquents nous citerons les *Clypeaster rosaceus*, *Spatangus columbaris*, *Tellina virgata*, *Pecten nodosus et radula*, *Astrea argus*, *Agaricia cristata*, *Pavonia undata*, etc., et, parmi

les espèces dont on n'a pas trouvé jusqu'à présent les analogues vivants, les *Clypeaster parvus*, nob., *Cassidulus Guadalupensis*, nob., et *Caryophyllia ponderosa*, nob.

M. Moreau de Jonnès qui a bien décrit ce tuf n'a pas fait ressortir son origine aussi récente.

On remarquera que les coquilles microscopiques forment ici des couches épaisses, ainsi que M. Alcide d'Orbigny l'a déjà fait observer pour le continent américain.

Ce tuf présente de nombreux soulèvements, mais tous les mornes qu'ils forment courent sous forme de chaînes de l'est à l'ouest, tandis que la chaîne volcanique de l'île est dirigée du nord au sud. Auprès du bourg Saint-François on peut observer des plissements en zigzag.

Roches à ravets (1), *sables volcaniques remaniés par la mer, et tuf jaunâtre.*

Nous décrirons ensemble comme se rapportant à la même époque ces trois terrains dont les fossiles sont à peu près les mêmes.

Il y aura ici quelques erreurs à rectifier, car M. Moreau de Jonnès, qui a fait voir combien d'autres s'étaient mépris en croyant trouver dans nos îles les terrains granitiques et ardoisiers, a commis lui-même une faute en assignant une haute antiquité aux roches dont nous nous occupons. Voici textuellement ce qu'il dit (pag. 136 et 137) sur la pierre à ravets :

» Quoi qu'il en soit, il faut ranger ce carbonate de chaux » parmi ceux appartenant aux contrées calcaires de première for- » mation ; il est analogue à celui que l'on trouve sur les flancs des » grandes chaînes de montagnes du globe, et il lui ressemble par » le défaut de stratification, par ses cristallisations nombreuses, » par le peu de coquilles qu'il renferme, par la nature de celles » que nous y avons reconnues (Térébratules), et qui sont presque » les seules que l'on observe dans les couches calcaires les plus » anciennes. »

Mais l'auteur que nous citons avait dit antérieurement, non pas qu'il a reconnu, mais qu'il avait cru reconnaître des térébratules dans la roche à ravets. Or, ce n'est pas sur une seule coquille que l'on peut établir l'âge d'une roche, et, du reste, les Térébratules se trouvent non seulement dans les terrains de tout âge, mais encore à l'état vivant.

---

(1) Nom vulgaire des Blattes américaines.

Le calcaire à ravets est sonore, et offre dans son intérieur des parcelles brillantes dues à du carbonate de chaux cristallisé. Il est très dur et ne renferme en général que des coquilles mal conservées. Ainsi que le fait remarquer M. Moreau de Jonnès, il a tiré son nom des sinuosités caverneuses qu'il renferme, lesquelles servent quelquefois de retraite aux blattes; ces cavités ne peuvent être considérées comme des vides dus à des polypiers ou à des coquilles, et elles sont ordinairement remplies d'argile.

Dans les environs de la Pointe-à-Pitre, aux Abymes, au Gozier, etc., ce sont ordinairement les roches à ravets qui se montrent à la superficie.

Au-dessous de cette couche on trouve une roche composée de sables volcaniques très friables, d'un gris noirâtre, et qui vue au soleil présente des parcelles brillantes de mica. Elle est assez épaisse, et renferme de nombreux fossiles. Nous avons pu l'étudier dans les fouilles du puits des usines Marly et Zevallos, où nous l'avons reconnue à une profondeur de 23 à 25 mètres sous la roche à ravets, tandis que dans la commune des Abymes elle vient affleurer le sol, et a été regardée par M. Moreau de Jonnès comme la base du volcan sur laquelle s'appuyaient les autres terrains.

Il est évident que ces sables volcaniques ont été remaniés par la mer, et c'est alors que les fossiles y ont été ensevelis et que le tout a acquis une certaine cohésion. Il arrive même assez souvent que ce mélange forme un poudingue grossier d'origine volcanique.

Sous cette dernière couche est un tuf jaunâtre assez fragile qui renferme des fossiles peu nombreux, mais analogues à ceux des couches supérieures.

Une grande partie des fossiles contenus dans les calcaires à ravets, les sables volcaniques et le tuf jaunâtre ayant leurs analogues vivants, nous avons cru pouvoir les rapporter au groupe miocène, quoique nous ne connaissions pas bien la proportion relative avec les espèces n'existant plus aujourd'hui.

Nous espérons plus tard donner une liste complète des corps organisés fossiles, comparés avec celle des animaux que l'on connaît aujourd'hui.

De l'exposé qui précède on pourra, je crois, tirer les conséquences suivantes, savoir :

Que l'on ne trouve à l'île de la Guadeloupe que des terrains tertiaires;

Que pendant le dépôt des diverses couches tertiaires il y a eu

des déjections volcaniques dont les résidus ont été remaniés et stratifiés par les eaux marines ;

Que l'on ne peut démontrer la haute antiquité d'aucun dépôt ;

Que l'on ne peut adopter l'opinion d'Yssert, qui prétend que les ammonites sont communes à la Grande-Terre ;

Que l'île n'est pas une formation dite madréporique, mais qu'elle est due à des sédiments formés sous des eaux marines.

Et enfin que les anthropolithes ou ossements humains fossiles ne remontent pas au-delà de quelques siècles.

M. Pomel fait observer que partout où on a trouvé l'homme, on a trouvé le chien domestique, même dans les îles de la Polynésie.

M. Michelin donne lecture de la note suivante de M. A. de Zigno.

Sur les terrains stratifiés des Alpes vénitiennes;
par M. A. de Zigno.

Padoue, mai 1847.

Dans la séance du 7 décembre 1846 de la Société géologique de France, M. Catullo m'accuse d'avoir annoncé *comme un fait entièrement nouveau* l'existence du lias dans les Alpes vénitiennes, et d'en avoir fait la communication dans ce sens à la Société dans la séance du 17 mars 1845. M. Catullo ayant répandu dans plusieurs écrits que je me suis arrogé cette découverte, il est nécessaire que je reproduise ici l'article inséré par moi à ce sujet à la page 356 du tome II de la 2e série du *Bulletin*, séance du 17 mars 1845 de la Société géologique, afin que chacun puisse reconnaître que M. Catullo s'est trompé sur le sens dudit article, et que je n'ai jamais prétendu annoncer une découverte.

Bulletin de la Société géologique, 2e série, t. II, pag. 356.

« Guidé par le caractère minéralogique et par les lois de super-
» position, ainsi que par l'examen de quelques fossiles, on a re-
» connu le trias dans les montagnes du Vicentin. *Moi-même j'ai*
» *cru pouvoir rapporter au lias un assemblage de roches qui se trou-*
» *vent dans les Alpes du Bellunais, entre le keuper et le jura;* mais
» toutes ces classifications restent toujours *douteuses jusqu'à ce que*

» *les limites du jura et du terrain crétacé soient mieux établies à* » *l'aide des caractères paléontologiques dans toute l'Italie boréale.* »

Depuis l'année 1845 j'avais en outre annoncé à l'Institut de Venise, à la Société géologique de France et au congrès de Naples, que j'avais trouvé des Criocères dans cette roche qu'on a jusqu'ici appelée *biancone*, et que des géologues croyaient jurassique, tandis que d'autres en faisaient une roche de l'étage crétacé supérieur. J'étais au contraire entraîné par la présence des Criocères, et d'autres fossiles caractéristiques, à l'établir pour l'équivalent du terrain néocomien inférieur. Ce fait me paraissait donc de quelque importance, d'autant plus qu'il m'obligeait à séparer paléontologiquement le *biancone* du calcaire ammonitifère rouge qui contient des fossiles jurassiques en grande abondance.

M. Catullo tâche de diminuer l'importance de cette observation en rappelant que les Criocères étaient connus du temps de Moscardo (1656) et de Mercati (1719), sans remarquer que, tandis que je crois être le premier qui en Italie ait appelé l'attention sur ce genre de céphalopodes, je n'ai jamais prétendu avoir été le premier ni le seul à le trouver. Des échantillons de Criocères existaient depuis longtemps dans les collections du comte Corniani et de l'abbé Corsequato, sans que personne les eût figurés avant l'ouvrage de M. d'Orbigny, et même, après la publication du genre *Crioceras*, personne, avant moi, n'avait démontré que ces fossiles, qui se trouvaient dans nos collections avec le nom d'*Hamites*, appartinssent au nouveau genre *Crioceras*.

Par les *Crioceras* je fus amené à établir l'étage auquel appartient le *biancone*, et ma classification a été admise par les géologues présents au congrès de Gênes. Cette roche immédiatement superposée au calcaire rouge ammonitifère des Alpes vénitiennes a donc été reconnue offrir le type du terrain néocomien dans toute cette partie de l'Italie par MM. de Buch, Coquand, Ewald, Sismonda, Michelin, Pérez.

M. Catullo seul s'y oppose, et cite une promiscuité de fossiles qui est bien loin d'être prouvée. Il suffit d'examiner les planches in-4° du mémoire de M. Catullo pour voir les erreurs qui s'y sont glissées. Voyez les figures de l'*Ammonites Beudantii*, *bicurvatus*, *latidorsatus*, *helius*, etc. Ce sont de vains efforts pour faire rentrer le calcaire ammonitifère de nos Alpes dans le système crétacé. Dans le *Taschenbuch* de Leonhard et Bronn on a déjà signalé toutes ces erreurs.

Mes planches de fossiles du *biancone* ont convaincu M. d'Orbigny que cette roche est décidément néocomienne, tandis que

les fossiles du calcaire ammonitifère que je lui ai envoyés appartiennent, selon ce célèbre géologue, à ceux de ses couches kelloviennes et oxfordiennes. Ainsi la question entre M. Catullo et moi a été décidée en ma faveur par les premières autorités scientifiques.

La confusion qui a régné jusqu'ici sur la classification de ces deux roches tient à ce que souvent on n'a pu les distinguer des roches qui les recouvrent, et particulièrement de la scaglia rougeâtre, blanchâtre et grise avec fucoïdes qui leur est bien supérieure, comme je l'ai prouvé dans d'autres écrits, et qui est caractérisée par les fossiles de l'étage senonien. Cette dernière est recouverte par un calcaire sableux qui contient les fossiles de Biaritz et de Bayonne.

Ainsi, récapitulant les observations des géologues qui m'ont précédé, et y joignant celles que j'ai faites dans ces derniers temps, nous avons, dans les Alpes vénitiennes et tyroliennes de bas en haut, un système arénacé qui recouvre nos micaschistes, et qui est lui-même recouvert par le trias bien caractérisé et qu'on peut observer à Recoaro, dans la Valsugana, dans le bassin de Trente, à Falcade, Agordo, dans la vallée de la Boite et dans le Frioul, et qui continue dans les vallées de Fiume, de Fassa, et dans la célèbre localité de S. Cassian; ensuite le lias et les couches dolomitiques et oolithiques recouvertes par les couches kelloviennes à *Ammonites Zignoianus*, *anceps*, *Hommaire*, *athleta*, *viator* d'Orb.; puis le *biancone* à *Belemnites latus*, *dilatatus*; *Ammonites Astierianus*, *consobrinus*, *Grasianus*, *infundibulum*, *quadrisulcatus*; à *Crioceras Duvalii*, *Villiersianus*; à *Ancyloceras pulcherrimus*, *Puzosianus*, etc.; ensuite les couches à Hippurites et Actéonelles du Bellunais recouvertes par la scaglia à fossiles senoniens.

Les terrains tertiaires du Vicentin, du Trévisan et du Padouan renferment dans les couches inférieures et immédiatement superposées à la scaglia les fossiles de Biaritz. Le Pentacrinite trouvé par M. Catullo et par moi dans la Brecciole de Novare, dans le Véronais, n'est ni le *Pentacrinites caput Medusæ* ni le *basaltiformis*, mais bien le *Pentacrinites didactylus* des environs de Bayonne. Cet étage est recouvert par les couches du terrain miocène à bancs puissants de lignite, lequel, dans le Trévisan et en quelques endroits du Vicentin, est lui-même recouvert par les sables et poudingues que M. Murchison a rapportés depuis longtemps au terrain subappenin.

M. le Président donne lecture de la note suivante de M. d'Archiac.

Note sur un plissement du terrain tertiaire dans la vallée de la Dronne, et sur les couches que traverse le chemin de fer entre Libourne et Angoulême, par M. d'Archiac.

De Libourne à Coutras, le chemin de fer qui parcourt la vallée de l'Isle est constamment en remblai; on ne coupe que le dépôt de transport diluvien composé de sable, de silex gris-noirâtre provenant de la craie, de cailloux très arrondis de quartz blanc ou diversement colorés, de granite, de roches amphiboliques, euritiques et schisteuses et de quelques fragments de grès. Au-delà de Coutras, le chemin suit de même le fond de la vallée de la Dronne, et, au ruisseau de Malibeau, les fondations du pont reposent sur une marne sableuse en place, gris verdâtre, un peu micacée, avec quelques grains de feldspath altéré et qui appartient à la molasse du Fronsadais. En s'avançant vers la Roche-Chalais, les fondations des autres ponts sont aussi établies sur ces mêmes marnes, à 3 ou 4 mètres au-dessous de la surface du sol.

Les collines qui bordent la vallée sont entièrement formées par la molasse qui n'atteint pas moins de 100 mètres d'épaisseur entre Coutras et Saint-André de Cubzac. Le haut plateau ondulé qui sépare ces deux bourgs ne présente point de bancs solides d'eau douce ni marine au-dessus de la molasse, et ces dernières ne paraissent pas dépasser la crête qui borde au nord la route de Saint-André à Fronsac. La continuité et l'horizontalité de cette bande calcaire qui suit la rive droite de la Dordogne contrastent fortement avec les contours ondulés et flexueux des sommets et des flancs le plus ordinairement boisés des coteaux de l'Isle et de la Dronne, qui accusent ainsi de loin leur composition et l'absence de couche solide dans toute leur hauteur. On n'a encore trouvé dans cette masse argilo-sableuse aucun fossile déterminable, si ce n'est quelques traces de végétaux charbonnés dans les bancs d'argile schistoïde. La craie ne se montre d'ailleurs nulle part, et le diluvium qui s'élève assez haut sur les pentes recouvre quelques mamelons avancés.

La Roche-Chalais est bâtie sur un promontoire composé vers le haut de molasse sableuse, à grain fin, gris bleuâtre, panachée de lie de vin; au-dessous vient un petit lit de cailloux de quartz très roulés, puis une molasse grise non panachée, et vers le bas une molasse plus solide formant le lit de la rivière. De ce village à Parcou sont des collines recouvertes de diluvium, et l'escarpement qui domine la Dronne au nord de Parcou présente à sa partie supérieure une masse puissante de grès formée par la molasse pa-

nachée très endurcie recouvrant la molasse sableuse et friable.

A la butte du Four-Latude que coupe le chemin de fer à l'O. de Parcou, on voit sur une hauteur de 9 mètres une molasse passant à un grès tendre, micacé vers le bas, fendillé obliquement et simulant une fausse stratification. Dans une carrière ouverte au-dessous du niveau du chemin la roche est fortement endurcie par une infiltration siliceuse et passe à un poudingue à petits éléments ou à un grès grossier lustré, gris ou jaunâtre, empâtant des nodules de quartz hyalin, de quartz blanc et d'argile grise. L'épaisseur de cette roche est de $2^m,50$; ses plans supérieur et inférieur sont irréguliers, ondulés, et au-dessus et au-dessous la masse sableuse est restée meuble et friable. On y remarque par places des veinules de silex jaspoïde et résinoïde, brun-jaune, de quelques centimètres d'épaisseur, et se fondant dans la masse arénacée. La butte de la Poterie située plus au nord présente aussi des bancs de grès subordonnés à la molasse. Par leur disposition arquée et en quelque sorte testacée ils semblent s'enfoncer irrégulièrement dans la roche meuble. Une couche d'argile impure les sépare les uns des autres. C'est à quelques centaines de mètres au nord de ce dernier point que les travaux du chemin de fer ont mis à découvert sur une longueur de 65 à 70 mètres et sur une hauteur de 5 mètres le plissement dont nous allons parler.

Les couches tertiaires placées sous le diluvium présentent de haut en bas : 1° un sable gris un peu argileux; 2° une glaise rouge; 3° une glaise grise; 4° une argile impure ou glaise ferrugineuse. Ces quatre couches d'une épaisseur assez variable, mais qui pour chacune d'elles ne dépasse pas 1 mètre à $1^m,50$ ne sont pas toujours nettement séparées et se fondent parfois les unes dans les autres. Elles offrent dans le talus de droite ou oriental des ondulations ou des flexions rubanées, tronquées à la partie supérieure par la dénudation à la suite de laquelle s'est déposé le diluvium, et à la base par le niveau même du chemin qui n'atteint point partout les plis inférieurs. Sur l'un des côtés de la coupe, ces bandes diversement colorées se redressent presque perpendiculairement et s'appuient contre un massif de craie jaune (1er étage). Cette craie qui semble avoir été triturée sur place n'affecte plus de stratification distincte et se voit sur une hauteur de 4 mètres. Au-delà les mêmes couches tertiaires semblent plonger dessous, quoique toujours placées dans le même ordre les unes par rapport aux autres; et à peu de distance la molasse grise, friable, ordinaire, se retrouve dans sa position normale.

Cet accident peut s'expliquer, en supposant que le froncement

des couches tertiaires qui paraît dirigé N.-O., S.-E. a été occasionné par une pression latérale, et qu'à l'endroit où le maximum d'effet s'est produit la craie sous-jacente a été redressée en coin oblique et incliné du côté où la force était la plus grande. Dans ce mouvement, la craie est restée accompagnée des couches tertiaires qui la recouvraient et qui se sont repliées de ce même côté, de manière à paraître plonger dessous et dans le même sens que celles que l'on remarque à gauche du massif crayeux et qui sont dessus. La dénudation diluvienne a recoupé ensuite les courbes ou arceaux supérieurs des strates redressés dont on ne voit plus que les tranches et qui plongent au N.-E. La craie semble donc subordonnée aux bandes tertiaires, mais la position relative constante de chacune de celles-ci suffit pour rendre compte de cette fausse apparence.

A Matignon, à peu de distance au nord de ce point, un plissement plus simple, ou mieux, un double soulèvement de la craie a donné aux dépôts tertiaires, sur une longueur de 100 mètres, une disposition en bassin extrêmement prononcée. Enfin, en continuant à s'avancer, la craie jaune se relève de plus en plus, mais d'une manière normale, de dessous les sédiments argilo-sableux, tertiaires, et dans les collines de Gresly, de Chalais et de Montmorau on ne trouve plus que le second étage ou craie tufau.

Dans un rapport fait à l'Académie des sciences (1), M. Dufrénoy en parlant des dislocations que nous avions signalées dans les couches crétacées du S.-O., et particulièrement dans celles des environs de Mareuil (Dordogne), a indiqué l'existence probable dans ce pays de quelques roches ignées qui auraient apparu à travers les dépôts secondaires. Si nous ne sommes point encore parvenu à constater directement la présence de ces roches, non plus que M. de Laroche-Tolay, ingénieur de cette partie du chemin de fer et qui a bien voulu nous guider et nous accompagner dans nos courses, du moins les plissements que nous venons de mentionner sont-ils une présomption de plus en faveur de l'idée émise par le savant académicien. C'est d'ailleurs le premier exemple de dislocation cité jusqu'à présent dans la bande tertiaire située au nord de la Garonne. Se rattacherait-il à quelque phénomène contemporain de l'apparition des ophites sur le rivage tertiaire opposé? C'est ce que l'on ne peut encore affirmer, car nous n'avons point vu, dans

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, vol. XVII, p. 382, 1843.

le voisinage, de dépôts postérieurs à la mollasse et dont la relation bien établie puisse éclaircir cette question (1).

La coupe précédente fait voir en outre que la superposition du terrain tertiaire a lieu dans la vallée dans la Dronne exactement comme nous l'avons décrite à l'est sur les bords de la Dordogne, autour de la Linde et de Bergerac, sur ceux de l'Isle près de Mucidan, et à l'ouest autour de Montguyon, de Montlieu, de Chévenceau, de la Graulle, de Reignac, de Montendre, etc. Nulle part la série argilo-sableuse de la partie inférieure de la mollasse n'est interrompue par des bancs de calcaire marins ou par des sédiments déposés évidemment par les eaux de la mer (2).

De Montmorau, en s'élevant vers la ligne de partage des eaux de la Charente et de la Dordogne, on voit le second étage de la craie augmenter d'épaisseur et former tout le massif qui sépare les bassins de ces deux rivières. Le plateau qui atteint son point culminant au signal de Brizard, à un kilomètre environ à l'E. de la route, est recouvert par des grès tertiaires dépendant de l'étage de la mollasse et par un dépôt caillouteux et glaiseux par place qui ne produit qu'une végétation maigre, rabougrie et rend presque inhabitable une assez grande surface de pays. Le tunnel de Livernan,

---

(1) Ces plissements sont tout à fait analogues, quoique sur une plus grande échelle, à celui que M. de Verneuil et nous avons signalé au pont de Rentigny, sur le chemin de fer du Nord, entre Creil et Clermont (Oise) (*Bull.*. 2e sér., vol. II, p. 334, 1845); seulement ils sont plus complets en ce que la craie sous-jacente, fortement dérangée, a été mise aussi à découvert.

(2) Sur une grande partie de la surface du département de la Charente-Inférieure, comprise entre la Seugne et la Gironde, et jusque sur les falaises qui bordent cette dernière, on trouve, recouvrant çà et là les divers étages de la craie, des lambeaux de sable rougeâtre ou jaunâtre, avec du grès en rognons aplatis et des roches siliceuses meuliériformes en plaques, qui ne sont probablement que des témoins de l'ancienne extension de la mollasse dans cette partie occidentale du bassin, et peut-être aussi du calcaire lacustre qui lui a succédé. Ces couches doivent avoir recouvert le lambeau calcaire marin de Saint-Palais, aux environs duquel nous avons rencontré de nombreux fragments de meulière et de grès, comme nous le voyons surmonter encore le calcaire marin inférieur de Blaye. Ainsi la mollasse du Fronsadais, avec les dépôts lacustres, puis marins, qui la recouvrent, succèdent transgressivement sur tout son littoral nord au calcaire marin inférieur de Blaye, dont le *substratum* n'est pas encore bien connu. Elle appartiendrait donc à une époque tout à fait distincte, et en aurait été séparée par une véritable révolution, au moins dans cette partie du bassin.

que parcourt le chemin de fer, traverse ce massif sur une longueur de 1,500 mètres, et à 69 mètres au-dessous du sol du plateau qui en cet endroit est à 188^{m},09 d'altitude, c'est-à-dire à plus bas que le signal de Brizard, situé un peu à l'ouest.

Dans le puits n° 2 on a traversé 64 mètres de craie gris-bleuâtre, tendre, marneuse, parfaitement homogène dans toute cette épaisseur comme dans toute la longueur du tunnel, et qui paraît correspondre à la partie moyenne du deuxième étage (craie tufau). Elle est surtout caractérisée par la *Lima maxima;* les autres fossiles (Pecten, *Cyprina ligeriensis*, une huître inédite, un nautile, etc.) y sont assez rares.

On doit remarquer que la roche de cet étage, qui vient affleurer et qui a même été entamée souvent le long de la route, soit en montant, soit en descendant les versants du plateau de Livernan, ne présente nulle part une masse continue, homogène, aussi constante que dans les puits et le tunnel, ni la teinte gris-bleuâtre si uniforme qui l'y caractérise. Ces différences sont telles qu'on serait porté à regarder ces calcaires comme réellement distincts et appartenant à des étages différents. Cette circonstance paraît due à ce que dans les escarpements naturels ou artificiels de la route on n'a sous les yeux que des parties toujours plus ou moins voisines de la surface qui sont fendillées et modifiées par les agents atmosphériques, jusqu'à une certaine profondeur, tandis que la roche traversée par les travaux du chemin de fer a toujours été soustraite à cette influence.

En descendant vers la petite rivière de Bohême on atteint les couches schistoïdes et en plaquettes de la base du second étage, avec *Terebratula alata, Arca Beaumonti*, etc., et plus bas, à l'endroit où le chemin de fer traverse la route, le petit talus qui borde le fond de la vallée est formé par un calcaire blanc jaunâtre caverneux, très dur, à cassure compacte, avec des fossiles mal conservés mais assez nombreux. Cette assise paraît correspondre à celle que nous avons signalée au sommet du plateau de Beaumont, à l'E. d'Angoulême, immédiatement sous les calcaires en plaquettes, et qu'à cause de ses fossiles nous réunissons encore au second étage (1). En remontant sur le plateau qui sépare la vallée de la Bohême de celle de la Chareau on retrouve les calcaires à plaquettes de la craie tufau, qui cessent de nouveau à la première descente avant le village de Veuil. Le sol est alors formé par les

(1) *Études sur la formation crétacée*, Ire part., p. 30, et pl. XII, fig. 5.

calcaires caverneux compactes précédents, qui, au second coude de la route vers le village, recouvrent des calcaires bréchoïdes durs, jaunâtres, avec *Spherulites ponsiana* et *Hippurites cornupastoris*. Ces bancs ont de 5 à 6 mètres d'épaisseur et sont suivis par un calcaire marneux schistoïde sans fossiles, et par un calcaire jaune, également sans fossiles; tous deux disposés en coin le long de la route et reposant sur la grande assise des calcaires blancs à *Hippurites lombricalis*, exploitée un peu plus bas, et constituant les pentes rocheuses inférieures du vallon de Veuil.

Les petites vallées que traverse la route depuis la descente de Livernan jusqu'ici, et qui sont dirigées du S.-E. au N.-O. sont dues à des brisures qui ont affecté les couches assez sensiblement pour que celles-ci ne se correspondent plus exactement de chaque côté.

Après le village, les calcaires blancs du troisième étage sont surmontés comme de l'autre côté des vallons par des couches analogues aux précédentes et connues des ouvriers sous le nom de *chaudron*. Elles sont fort développées sur les plateaux environnants où elles forment souvent le ciel des carrières ouvertes dans les calcaires blancs. Elles représentent celles que nous avons décrites dans la même position en sortant d'Angoulême par la route de Périgueux et montant au hameau de Beaumont (1). Des Sphérulites assez grandes s'y montrent également, et leur position entre la grande assise des calcaires exploités, caractérisée par l'*Hippurites lombricalis*, et les calcaires jaunâtres de la base de la craie tufau, ne peut laisser d'incertitude sur leur position au S. comme à l'E. de la ville.

Par suite du relèvement successif de tous les étages au N., les bancs du chaudron ne nous ont point paru exister dans les escarpements qui entourent immédiatement Angoulême, et à plus forte raison sur le promontoire qu'occupe la ville et que traverse le chemin de fer par un tunnel percé tout entier dans la même assise. Celle-ci constitue un calcaire marneux gris bleuâtre, homogène, peu dur, et ressemblant beaucoup à celui du tunnel de Livernan, quoique placé vers le milieu du troisième étage, tandis que l'autre se trouve vers le milieu du second. Il peut donner aussi lieu à la même observation lorsque l'on compare la roche extraite du tunnel à celle qui affleure dans les escarpements de la colline.

---

(1) *Études sur la formation crétacée*, Ire part., p. 57, et pl. XII, fig. 5.

Cette coupe S.-N. de Libourne à Angoulême confirme donc celles que nous avons données précédemment (1) d'Angoulême à Montlieu et de Thiviers à Bergerac. Quant à la disposition générale des divers étages de la craie du S.-O., à leur succession et à leur puissance relative, seulement entre les calcaires en plaquettes de la craie tufau et le grand horizon des calcaires blancs d'Angoulême, il se développe au S. et au S.-E. de cette ville deux assises qui ne paraissent pas avoir leurs représentants à une grande distance à l'O. et à l'E. dans les départements de la Dordogne et de la Charente-Inférieure.

M. Martins donne lecture de la lettre suivante de M. Charles Desmoulins.

Château de Lanquais, par Lalinde (Dordogne), 7 juin 1847.

Monsieur le Président,

Une discussion s'est établie dans le sein de la Société géologique réunie extraordinairement à Chambéry (séance du 23 août 1844; *Bulletin*, 2e série, t. I, p. 777), et s'est renouvelée à Paris (séance du 12 janvier 1846; *Bulletin*, 2e série, t. III, p. 144), relativement à la station exclusive de certaines plantes dans certaines zones et dans certains terrains. Cette question se résume ainsi qu'il suit :

MM. Beaudouin, Virlet d'Aoust, Clément-Mullet et Bernard ont parlé en faveur de la station plus ou moins exclusive; le savant archevêque de Chambéry, monseigneur Billiet et M. l'abbé Chamousset ont paru se rattacher, d'une manière encore plus tranchée, à l'opinion de la station exclusive. M. Michelin l'a combattue, et en 1846 M. Bernard s'est rapproché de lui en admettant que l'altitude est plus importante en cette matière que la nature du terrain.

Cette vaste et importante question ne peut être définitivement résolue, dans toutes ses parties, que par la comparaison d'une masse énorme d'observations de détails, faites spécialement dans ce but et accompagnées de conditions minutieuses autant qu'indispensables aux succès des recherches. Les observations de ce genre sont déjà nombreuses, mais éparses et non uniformément coor-

(1) *Loc. cit.*, pl. XI, fig. 2 et 3.

données. Bien que faites dans l'intérêt de la Géologie, elles sont beaucoup plus particulièrement *botaniques*, et n'ont pu être exposées *in extenso* devant une Société dont elles auraient trop longtemps détourné l'attention, au détriment de ses études spéciales et essentielles. On pourrait jusqu'à un certain point, en renversant cette proposition, l'appliquer à une Société purement botanique, devant laquelle une discussion de ce genre eût peut-être été trop longuement géologique; et il m'a semblé que l'examen de la question devait trouver place dans un recueil qui ne fût ni exclusivement botanique, ni exclusivement géologique. C'est donc dans les *Mémoires de l'Institut des provinces de France* (classe des sciences, t. I), que je me suis adressé à la fois aux géologues et aux botanistes, en les conviant à examiner avec moi, non la question *principale*, puisque sa solution dépend de longues et nombreuses séries d'observations qui ne sont pas encore recueillies, mais une question *préjudicielle*, celle de savoir quelle est la direction la plus fructueuse à donner aux recherches.

J'ai l'honneur de faire hommage à la Société géologique d'un exemplaire de ce mémoire, intitulé : *Examen des causes qui paraissent influer particulièrement sur la croissance de certains végétaux dans des conditions déterminées;* et, conformément à l'usage adopté dans la Société pour les travaux qui ont un rapport direct avec les siens, j'en dépose ici, pour le *Bulletin*, une analyse très succincte.

Il est divisé en quatre paragraphes dans lesquels je reprends, une à une, les diverses plantes que nos savants collègues ont nommément citées dans la discussion. De ces exemples et des faits que j'ai exposés à leur sujet, je tire des inductions partielles sur la voie qu'on devra suivre dans les recherches; puis j'arrive à deux propositions générales qui ont été énoncées devant la Société, et dont l'examen confirme, ce me semble, le choix de cette voie.

Le premier paragraphe du mémoire est consacré aux *Phanérogames* citées, au nombre de *quatre*, auxquelles j'ai ajouté le *Noyer* qui, bien qu'affectionnant presque exclusivement le sol calcaire, se montre exceptionnellement sur des sols siliceux. Le *Châtaignier* affectionne au contraire le sol siliceux, mais avec addition d'alumine, et abstraction faite de toute condition géologique. La *Busserolle* (*Arbutus uva-ursi*), qui a été citée comme croissant sur des roches calcaires, se trouve aussi, d'après les stations précises des échantillons que renferme mon herbier, sur le granite, le schiste et le grès vosgien; c'est l'altitude ou la latitude correspondante,

qui paraît seul influer sur sa végétation. Le *Galeopsis ochroleuca* croît sur le granite, mais aussi dans un sol d'alluvion sablonneuse, comparativement moderne, et sur des roches volcaniques : il lui faut donc de la silice et de l'alumine. Le *Hêtre* croît sur divers étages des formations crayeuse et jurassique (calcaire, silice, alumine), et aussi dans les régions granitiques qui lui fournissent par conséquent ces deux dernières substances ; il n'est donc soumis qu'à des conditions climatologiques.

Ainsi, sur cinq végétaux de familles assez variées, deux (Hêtre et Busserolle) obéissent à des influences *thermologiques;* deux autres (Châtaignier et Galéopside) à des influences *minéralogiques;* le cinquième (Noyer), sauf de rares exceptions, semble se réunir aux deux derniers, et faire pencher la balance numérique du côté des influences minéralogiques. Pour tous les cinq *l'influence géologique est nulle.*

Dans le deuxième paragraphe, consacré aux *Lichens*, considérés comme propres aux roches granitiques ou calcaires, je cite trois espèces : 1° *Parmelia ventosa* (roches granitiques et schistes siliceux) ; 2° *Lecidea geographica* (roches quartzeuses de toute formation géologique, soit pures, soit avec mélange d'alumine). Je montre, d'après ma propre collection, que ce lichen croît aussi sur les substances artificielles formées d'alumine et de silice (tuiles), et ce n'est qu'au prix *d'une déformation notable* qu'il se montre sur les calcaires, comme Fries l'a fait remarquer ; 3° *Lichen parellus* Linn. (Orseille d'Auvergne), qui croît sur le granite, sur les roches volcaniques, sur les meulières, sur les grès ferrugineux de la molasse, sur les tuiles ; qui se déforme sur les schistes siliceux, et qui enfin abonde sur les écorces. Ce dernier est évidemment *ubiquiste*, si ce n'est qu'à ma connaissance il ne croît pas sur le calcaire. Le premier paraît étranger aux roches qui contiennent de la chaux, et le second s'y déforme. En somme, influence minéralogique évidente (sauf les exceptions) : influence géologique nulle.

Le reste du deuxième paragraphe traite du genre *Umbilicaria*, généralement considéré comme absolument *graniticole*. Il est vrai que toutes les espèces, *moins une*, sont exclusivement *silicicoles* (mais non exclusivement *graniticoles*) ; certaines formes de l'*U. vellea* croissent sur des rochers calcaires. L'*U. pustulata* croît presque toujours, comme on l'a dit, sur les roches granitiques, mais je l'ai trouvée une fois sur le grès siliceux et ferrugineux de la molasse. — Depuis la correction des épreuves de mon travail, j'ai trouvé, dans la partie botanique de la *Statistique des Vosges*, par M. le docteur Mougeot, cinq variétés d'*Umbilicaria* indiquées

sur les *grès* comme sur les *granites :* ces cinq variétés rentrent dans quatre espèces, y compris l'*U. pustulata.*

A propos des *Umbilicaria*, j'explique qu'ayant employé la nomenclature de Fries, qui a réuni beaucoup d'espèces anciennement considérées comme distinctes par Acharius et son école, je pourrais me trouver en désaccord, pour les résultats, avec des botanistes qui suivraient la nomenclature de ces auteurs, et je donne des détails particuliers sur un lichen silicicole et aluminicole (*Lecidea atro-alba*), dont les divers états sont répartis *dans deux genres différents* par l'illustre De Candolle (*Flore française*). — Pour mettre ceux de nos collègues qui pourraient le désirer à même de suivre les détails relatifs à la forme *concentrique* d'une des variétés de cette espèce, j'ai l'honneur, monsieur le Président, d'offrir à la Société un magnifique échantillon de cette forme si remarquable par la disposition régulière des apothécies.

Le troisième paragraphe est relatif aux *Plantes dont la station exclusive varie avec les localités.* C'est là la première proposition générale émise par M. Michelin, et je la confirme par quelques exemples, desquels je tire cette conclusion, qu'il est impossible de résoudre le problème qu'elle présente à nos méditations, si ce n'est peut-être, un jour, par la comparaison de nombreux *catalogues régionnaires* qui sont encore à faire presque partout, et qui doivent contenir toutes les indications géologiques, minéralogiques, climatologiques, hypsométriques, hydrologiques, thermologiques et hygrométriques, qu'il sera possible de réunir sur chaque espèce et sur chaque modification d'espèce.

Le quatrième et dernier paragraphe, intitulé : *Influence de l'altitude sur la végétation*, se rapporte à la deuxième proposition générale énoncée par MM. Michelin et Bernard. Cette proposition est d'une vérité si incontestablement démontrée, que je n'ai pas cru devoir l'appuyer d'exemples particuliers. Je me suis borné à recommander l'étude de deux Mémoires qui doivent être regardés comme d'excellents modèles pour ce genre d'observations : ce sont ceux de feu Ramond (*État de la végétation au sommet du pic du Midi de Bigorre*, 1826) et de notre savant collègue le docteur Ch. Martins (*Essai sur la topographie botanique du mont Ventoux*, 1838) (1). — Je me suis permis d'indiquer aussi, comme

(1) Ce n'est qu'en janvier 1847 que j'ai eu l'avantage de lire son excellent et instructif *Voyage botanique en Norvége*, et mon travail était livré à l'imprimeur, à l'autre bout de la France, depuis octobre 1846.

renfermant un certain nombre de documents afférents à la question, un Mémoire que j'ai publié en 1844 (*État de la végétation sur le pic du Midi de Bigorre au* 17 *octobre* 1840); je n'avais pas osé offrir à la Société ce travail essentiellement botanique, mais la discussion dont il s'agit me faisant penser qu'elle pourrait trouver quelque intérêt à le conserver dans sa bibliothèque, je vous prie, monsieur le Président, de lui en faire hommage en mon nom.

La conclusion du Mémoire qui fait l'objet de ma lettre : est celle-ci : « La solution de la question semble devoir naître *de* » *l'union des deux éléments*, MINÉRALOGIQUE ET HYPSOMÉTRIQUE, qui » comprennent et résument tous ceux de moindre importance. »

M. Martins fait ensuite la communication suivante :

Du transport de certains blocs erratiques de la Scandinavie et de l'Amérique septentrionale par des glaces flottantes, considéré comme conséquence de l'ancienne extension des glaciers et des changements de niveau de ces contrées, par M. Ch. Martins.

Trois théories divisent les géologues au sujet du transport des blocs erratiques de la Scandinavie. Quelques savants croient encore qu'ils ont été charriés par l'eau; d'autres pensent qu'ils ont été déposés par d'anciens glaciers, qui ont disparu depuis. M. Murchison, enfin, a émis l'opinion que ces masses ont été transportées par des glaces flottantes provenant des glaciers du nord de la péninsule (1). Mon but, dans cette note, est de montrer que les glaces flottantes chargées de blocs erratiques, se sont détachées de glaciers *plus étendus* que les glaciers actuels, et que ce mode de dispersion des blocs n'est qu'une conséquence de l'ancienne extension de ces glaciers, jointe à l'immersion et à l'émersion de la presqu'île scandinave. Supposons, en effet, un instant, qu'à l'époque de la dispersion des blocs, les glaciers de la Suède et de la Norvége n'aient pas été plus étendus qu'ils ne le sont actuellement, et voyons quelles seront les conséquences de cette hypothèse.

---

(1) *The geology of Russia and the Ural mountains*, t. I, p. 528; et *Quarterly Journal of the geological Society of London*, t. II, p. 349. — 8 avril 1846.

1° Si l'on prétend que les blocs erratiques ont été transportés par des masses de glace détachées des glaciers actuels, il faudra nécessairement admettre que la Scandinavie était enfoncée sous les eaux de la mer jusqu'au niveau de ces glaciers. Or, sous le 61e de latitude, les glaciers du Justedal descendent (1) jusqu'à 485 mètres au-dessus du niveau de la mer. Ceux de Lodal et de Nygaard, sont à 577 mètres et 340 mètres au-dessus du même niveau (2); ceux de Sala et d'Almjalos, qui descendent du Sulitelma, s'arrêtent à 778 et 974 mètres au-dessus de la mer (3). Il aurait donc fallu que la Scandinavie s'enfonçât à 600 mètres environ au-dessous de son niveau actuel pour atteindre le pied de ceux de ces glaciers qui descendent le plus bas. Or, nous avons la certitude qu'elle ne s'est jamais enfoncée à plus de 240 mètres au-dessous de ce niveau; car la couche coquillère appelée *skalenskigt*, qui règne tout le long des côtes de Norvége, et qui nous indique le niveau le plus élevé que la mer ait atteint par suite de l'enfoncement de la presqu'île, ne dépasse pas 240 mètres (4). Il n'existe donc aucune preuve que la Norvége se soit jamais enfoncée au-delà de cette hauteur et qu'elle ait atteint le pied des glaciers actuels. Si l'on objectait que cette immersion a eu lieu antérieurement à l'époque glaciaire, je répondrais avec M. Daubrée (5), que l'absence en Norvége de tous les terrains de sédiment compris entre l'époque de transition et les derniers dépôts tertiaires, montre que ce pays était émergé pendant la période antérieure au commencement des dépôts les plus modernes.

2° Si les glaces flottantes provenaient des glaciers actuels, elles n'auraient évidemment charrié que des blocs détachés des sommi-

---

(1) L. von Buch, Ueber die Grenzen des ewigen Schnees im Norden. *Gilbert's Annalen der Physik*, t. XLI, p. 22. — 1812.

(2) Naumann, Einige Bemerkungen auf Ausfluegen in die norwegischen Schneegefilde. *Leonhards Taschenbuch*, t. XVII, p. 167 et 186. — 1823.

(3) Wahlenberg, Bericht ueber die Messungen und Beobachtungen zur Bestimmung der Hoehe und Temperatur der Lapplaendischen Alpen unter dem 67em Breitegrad; uebersetzt von Haussmann, § 17 et 29.

(4) Desor. Notice sur le phénomène erratique du Nord comparé à celui des Alpes. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e sér., t. IV, p. 199. — 1846.

(5) *Bulletin de la Société géologique de France*, t. XIV, p. 573. — 1843.

tés qui les dominent encore aujourd'hui; mais il est avéré que les blocs erratiques scandinaves proviennent de contrées où il n'existe actuellement aucun glacier. Il suffit, pour s'en convaincre, de jeter un coup d'œil sur la carte qui accompagne l'ouvrage de MM. Murchison et de Verneuil sur la Russie. On y voit, par exemple, que les blocs erratiques de la Pologne, sont en partie originaires des environs de Philipstadt, au bord du lac Wenern, contrée fort éloignée des glaciers actuels. De son côté, M. Durocher fait remarquer que les matériaux déposés dans les parties méridionales de la Suède, « proviennent des collines basses et mamelonnées de la Suède et de la Finlande plutôt que des hautes régions (1). » Or, dans l'hypothèse de l'immersion de la Scandinavie jusqu'au niveau des glaciers actuels, ces contrées auraient été immergées *à une grande profondeur* au-dessous de la mer, et ni les glaciers, ni les glaces flottantes, ni la glace de la mer, n'auraient pu en arracher des blocs gigantesques pour les transporter à de grandes distances. L'origine des blocs erratiques nous prouve donc qu'ils n'ont pas été charriés par des glaces flottantes détachées des glaciers actuels.

3° Si la Scandinavie avait été immergée au commencement de l'époque glaciaire jusqu'au niveau des glaciers actuels, comment pourrait-on concevoir le burinage des stries que nous voyons au bord, et même au-dessous de la mer (2). Quel est l'agent qui aurait pu graver des stries à 600 mètres de profondeur. Je n'en conçois aucun. On est donc invinciblement amené, pour se rendre compte de ces stries littorales et sous-marines, à supposer que les niveaux relatifs de la terre et de la mer étaient peu differents de ce qu'ils sont aujourd'hui, ou que la côte était plus soulevée qu'elle ne l'est depuis la période historique : mais alors les glaciers actuels ne plongeaient pas dans la mer, tout le pays était émergé; et on est obligé de renoncer à expliquer le transport des blocs erratiques par les glaces flottantes détachées de ces glaciers. La plupart des géologues qui ont étudié les phénomènes erratiques en Scandinavie, ont compris cette difficulté. Aussi M. Murchison, qui a le plus insisté sur le rôle des glaces flottantes dans ce phénomène, a-t-il admis l'ancienne extension des glaciers du nord de la Scandinavie et de la Laponie, jusqu'au bord de la mer qui

(1) *Ibid.*, 2e série, t. IV, p. 63. — 2 novembre 1846.

(2) Dans les environs de Carlscrona, on les a poursuivis jusqu'à 6 mètres au-dessous de la surface de la Baltique *Nyt Magazin for Naturvidenskaberne*, t. IV, p. 312. — 1845.

baignait les côtes de la presqu'île, après l'époque pliocène (1), et le désaccord entre lui et nous ne porte plus que sur l'étendue de cette extension. Restreinte dans ses étroites limites, son hypothèse est, comme nous l'avons vu, évidemment insuffisante pour expliquer le transport des blocs erratiques originaires du midi de la Suède.

Partiellement d'accord avec les glacialistes, M. Murchison se sépare d'eux complétement en attribuant à des cailloux charriés par l'eau les stries et le poli des roches scandinaves. Mais ces stries étant identiques au-dessous de la mer du Nord, sur les côtes de la Norvége, et à 1230 mètres au-dessus, il en résulte qu'il serait forcé d'admettre, pour être conséquent avec sa doctrine, que la Suède, à l'époque de la dispersion des blocs, était immergée jusqu'à 1234 mètres, hauteur à laquelle M. Siljestroem a vu des stries (2). On voit donc que l'hypothèse de M. Murchison suppose une immersion qui dépasse de plus de 600 mètres le niveau inférieur des glaciers actuels, et de 994 mètres la limite supérieure de l'argile coquillère.

Dira-t-on que la Scandinavie s'est soulevée brusquement,

---

(1) *The geology of Russia and the Ural mountains*, t. I, p. 528 et 554.

Voici les propres expressions de l'auteur, p. 528.

« We therefore think that ice and snow may, at on time, have covered large parts of Scandinavia and Lapland; that glaciers advanced from thence to the edges of the sea of the post-pliocene or block period, and that finally upon an alteration of climate, probably occasioned by sudden successive changes in the relations of land and water, these glaciers were broken up, and fragments of them, constituting isles with included blocks, were transported during long periods to the south. »

Et p. 554.

« But whilst we reject the application of the terrestrial glacier theory to Sweden, Finland, north-eastern Russia and the whole of northern Germany, in short to the low countries of Europe, we believe, as before stated, that in the axis of northern Scandinavia and Lapland (the highest point of which is upwards of 8000 feet above the sea) arctic glaciers did formerly exist. *These glaciers, probably more extensive than those which there now prevail*, formed, we may imagine, the shores of the sea that then covered all the low lands of Sweden, Finland and Russia and bathed the edges of such glaciers, just as those of the icy sea now advance to the ice-bound cliffs of Spitzbergen.

(2) Observations sur les directions qu'affectent les stries des rochers en Norvége, par M. Siljestroem. *Voyages en Scandinavie*, Géographie physique, t. I, p. 211.

de façon à déterminer une vague immense et à émerger rapidetous les points situés au bord de la mer actuelle, jusqu'à 1234 mètres au-dessus, soulèvement qui expliquerait les surfaces arrondies et striées par les cailloux (*drift*) que charriait ce flot gigantesque (1). Mais tout nous prouve que ce soulèvement a été lent et insensible, comme il l'est encore aujourd'hui. Les intervalles de repos complet sont marqués par des terrasses avec lignes d'anciens rivages que la mer a battus longtemps, comme le prouve l'aspect des rochers creusés et érodés par l'eau. C'est même une des conséquences du travail de M. Bravais sur les lignes d'ancien niveau de la mer, en Finmark, que M. Élie de Beaumont a fait ressortir avec le plus de soin dans son Rapport sur ce Mémoire (2). Supposons néanmoins un instant qu'il soit démontré que ce soulèvement a été brusque et qu'il ait produit la vague immense à laquelle on attribue le phénomène erratique de la Scandinavie, il resterait encore à prouver que l'eau charriant des cailloux et des blocs peut tracer à la surface des roches les plus dures des stries rectilignes et sensiblement parallèles. L'observation nous apprend que l'eau ne possède pas ce pouvoir. Vainement on invoquerait les dimensions énormes qu'on prête aux courants diluviens ; il existe la même disproportion entre les glaciers actuels et les glaciers qui couvraient autrefois la Suisse et la Scandinavie. Cependant les glaciers actuels nivellent et strient, comme leurs devanciers : par conséquent, les débâcles, les torrents, les fleuves, charriant des masses de cailloux, doivent produire et produisent en petit les mêmes effets que les courants diluviens. Ils érodent les roches, ils les sillonnent de canaux sinueux, ramifiés, anastomosés ; ils y creusent des marmites de géants ; mais ils ne les nivellent pas et n'y tracent pas de stries rectilignes qui, au rétrécissement des vallées, se relèvent d'amont en aval et forment, avec la pente du Thalweg, des angles de 45 à 50 degrés. En outre, les cailloux roulés par les torrents sont arrondis, lisses et jamais striés ; ceux entraînés par les glaciers, sont usés, frottés et striés. Les effets de l'eau et de la glace peuvent donc être analogues, ils ne sont jamais identiques.

La manière dont nous concevons, M. Desor et moi, le phénomène erratique en Scandinavie, me paraît expliquer la plupart des

---

(1) Voy. Murchison, On the Scandinavian drift. *Journal of the geological Society of London*, t. II, p. 363.

(2) *Comptes-rendus de l'Académie des sciences*, t. XV, p. 847. — 1842.

faits d'une manière plus satisfaisante. Les rochers striés se prolongeant sous la mer, la péninsule devait être, au commencement de l'époque glaciaire, plus émergée qu'elle ne l'est maintenant. Les glaciers s'étendirent au-delà du rivage actuel et atteignirent le Danemarck, comme le prouvent les belles roches polies des environs de Faxoe, découvertes par M. Desor. Alors les rochers furent arrondis, polis et striés, et les cailloux frottés, furent entraînés et dispersés par les glaciers. Quelle était la limite de la nappe de glace à cette époque? c'est ce que personne ne saurait dire, puisque les traces qu'elle a laissées sont cachées en partie sous les flots. Pendant cette extension, la Scandinavie s'est peu à peu enfoncée dans la mer; ce qui le prouve, c'est la couche argileuse à coquilles qui règne du cap-Nord jusque dans le S. de la Norvége et recouvre partout les roches polies; ce sont les serpules qu'on trouve à Sorgenfry, près de Christiania, fixées sur des plaques polies et striées, à 60 mètres au-dessus de la mer. Les œsars se formèrent pendant cette période comme se forment les hauts fonds ou plutôt les *revler* du Jutland. Leur formation a été d'autant plus rapide que les moraines abandonnées par les glaciers étaient des matériaux tout préparés que la mer déplaçait et modelait à son gré. Les cailloux roulés, les coquilles marines ou littorales, dont se composent les œsars, les débris de bateaux fort anciens qu'on y a découverts témoignent assez de leur origine sous-marine.

Pendant cette période d'immersion et celle d'exhaussement qui l'a suivie, les glaces flottantes, portant des blocs erratiques, se détachèrent des glaciers qui descendaient jusqu'à la mer, vinrent échouer sur les hauts fonds, et y déposèrent le fardeau dont ils étaient chargés, comme M. Murchison l'a très bien expliqué. La côte continuant à s'élever, ces hauts fonds littoraux ont été successivement mis à sec avec les blocs dont ils étaient couverts, ce sont les œsars; et nous voyons maintenant dans la même contrée les traces d'un ancien glacier, les blocs apportés par lui et ceux qui ont été déposés sur les œsars par les glaçons flottants. Ce qui s'observe dans le sud de la péninsule se voit dans le nord. Tout le long du fiord d'Alten, sous le 70e de latitude, on suit des traînées de blocs disposées horizontalement le long des lignes d'ancien niveau de la mer, par exemple, entre le comptoir de Bossekop et la maison du Gouverneur du Finmark (*Fogedgaard*). En outre, toute la contrée est couverte de roches striées et moutonnées comme celles qui avoisinent les glaciers de la Suisse.

Aux États-Unis, près de Boston, où la côte présente aussi des traces incontestables de changement de niveau, M. Desor vient

de retrouver les mêmes apparences. Des surfaces polies et striées s'observent sur toutes les espèces de roches; le granite, la syénite, les schistes chlorités, les calcaires de transition et même des poudingues comme la *Nagelfluc* des environs de Vevay, en Suisse. On y trouve aussi ces demi-cylindres en relief, si caractéristiques de l'action du glacier, signalés déjà dans la vallée de Chamonix et en Scandinavie (1). Les cailloux, frottés et striés, sont extrêmement communs; mais ce sont plutôt de petits blocs que des cailloux, comme ceux de la Suisse ou des Vosges. Il existe aussi des œsars parfaitement caractérisés à Millton, près de Boston. Ils sont connus des habitants sous le nom de *ridges*, et ont la même forme, le même sommet plat, les mêmes pentes et la même composition que les œsars suédois. Comme en Suède, des routes, toujours praticables, occupent leur sommet, tandis que la plaine voisine est souvent inondée. A Millton, une coupe perpendiculaire au rivage présente successivement la mer, une plaine diluvienne, l'œsar et une colline plus élevée de granite strié et poli dont le sommet est entouré d'une ceinture de blocs erratiques qui ne viennent pas de fort loin, et paraissent avoir été déposés sur la colline par un radeau de glaces flottantes à un niveau supérieur à celui de la plateforme de l'œsar. Dans l'État du Maine, on trouve aussi des œsars que les habitants du pays désignent sous le nom de *Indian roads* ou *Horsebacks* (dos de cheval), et M. Lyell (2), en décrivant les *ridges* du lac Ontario, a parfaitement reconnu leur analogie avec les œsars suédois.

Je ne saurais quitter ce sujet sans insister sur la présence des cailloux et des blocs striés en Scandinavie et aux États-Unis. Ces cailloux sont, pour ainsi dire, le *fossile caractéristique* de la présence d'anciens glaciers. Enclavés entre la roche et la glace, ils ont cheminé lentement avec elle; mais, dans ce trajet, ils ont été arrondis, usés, frottés et striés dans tous les sens. L'eau ne saurait produire ces effets. Les cailloux roulés de nos fleuves et de nos torrents, les galets des bords de la mer et ceux des lacs sont polis, roulés, arrondis, mais ils ne sont *jamais* striés. Il y a plus, les cailloux striés par les glaciers, entraînés par les torrents qui s'en écoulent, perdent leurs stries au bout d'un trajet fort court, car, à 500 mètres de l'escarpement terminal d'un glacier, on ne trouve plus de cailloux striés dans le lit du torrent.

---

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. III, p. 109. — 15 décembre 1845.

(2) *Travels in north America*, t. II, p. 102

Quand on réunit toutes ces circonstances, on comprend difficilement qu'il existe des cailloux striés dans les parties de la Scandinavie et de l'Amérique du Nord qui ont été jadis sous-marines, comme l'attestent les œsars qui les recouvrent. Il semble logique de conclure que ces cailloux ou ces blocs ont dû être roulés par les vagues à l'époque où les parties littorales de ces pays se sont immergées. Cette immersion s'étant faite avec lenteur, chacun de ces cailloux, pour ainsi dire, a dû se trouver à son tour au bord de la mer, et alors le mouvement de va-et-vient que lui imprimait la marée et les flots a dû effacer ses stries en le frottant contre les autres cailloux de la grève. L'examen des cailloux qui se trouvent dans les œsars semblent confirmer cette manière de voir; tous sont roulés, mais il est extrêmement rare d'en trouver qui conservent des traces de stries (1). L'existence simultanée dans une même localité de cailloux striés par les glaciers et d'œsars formés par la mer semble donc contradictoire, quoique les œsars soient placés au-dessus du terrain de transport qui renferme les cailloux striés.

Une analyse attentive des phénomènes que présentent ceux des glaciers actuels qui descendent jusqu'à la mer nous fournira la solution de ces difficultés. Au Spitzberg, où se réalise la conception d'un pays envahi par les glaciers, ceux-ci ne s'arrêtent pas au bord du rivage : ils s'avancent *au-dessus* de la mer en la surplombant (2).

---

(1) Desor. Notice sur le phénomène erratique du Nord comparé à celui des Alpes. *Bulletin de la Société géologique*, 2e série, t. IV, p. 201. 1845.

(2) Observations sur les glaciers du Spitzberg comparés à ceux de la Suisse. *Bibliothèque universelle de Genève*. Juillet 1840; *Edinburgh new philosophical Journal*, t. XXX, p. 284. 1841; et *Voyages en Scandinavie de la corvette* la Recherche, Géographie physique, t. I, p. 176.

J'ai constaté que ces glaciers surplombaient la mer en été, il en résulte que les glaces flottantes qui s'en détachent ne sont pas hautes; la partie émergée dépassant seulement de quelques mètres la surface de la mer. Dans la baie de Baffin, au contraire, les glaces flottantes (*icebergs*) ont souvent une hauteur énorme (voyez *J. Ross, A voyage of discovery in H. M. ships Isabella and Alexander for the purpose of exploring Baffin's bay*, pl. I, II, IV). Elles proviennent de glaciers tels que celui qui est décrit et figuré par l'auteur p. 141, et qui plongent dans la mer. Les glaces flottantes qui s'en détachent ont pour hauteur totale la somme de la partie émergée et de la partie immergée du glacier. Dans les parages du Spitzberg, aucun navigateur n'a jamais rencontré de véritables montagnes de glace flottantes; d'où je conclus que dans aucune saison les glaciers ne s'avancent en glissant sur le fond de la mer, et n'atteignent la puissance des glaciers de la baie de Baffin. Ces différences tiennent à ce que les côtes du Spitzberg sont baignées par une branche

La projection horizontale du glacier occupe donc un segment ; la courbe du rivage en est l'arc et l'escarpement terminal du glacier, la corde. Il en résulte qu'un bloc ou un caillou strié enchâssé dans la glace (et ils sont encore plus gros et plus nombreux au Spitzberg que dans les Alpes (1)) est transporté par le glacier au-delà du rivage et tombe à la mer à une certaine distance du bord. Or, au Spitzberg, j'ai trouvé au pied de l'escarpement des glaciers de Bellsound et de Magdalena-bay des profondeurs comprises entre 30 et 123 mètres. Un bloc strié tombant des glaciers à cette profondeur y est complétement à l'abri de l'action efficace des vagues qui cesse à 5 ou 6 mètres de profondeur ; il le sera d'autant plus que ces glaciers occupent presque toujours le fond des baies où les mouvements de la mer sont beaucoup moins sensibles que sur les côtes battues directement par les lames du large. Si ce bloc n'est point roulé par les flots, ses stries ne s'effaceront pas, car l'eau n'a pas le pouvoir d'enlever les stries en lavant le rocher, comme on en a des milliers de preuves en Suisse et en Scandinavie.

Les choses se sont passées de la même manière à l'extrémité des glaciers scandinaves lorsque ceux-ci arrivaient jusqu'à la mer. La côte étant fort escarpée, un grand nombre de blocs striés sont tombés dans une eau profonde. Cette profondeur augmentant sans cesse par suite de l'immersion de la côte, les mettait de plus en plus à l'abri de l'action des vagues. Mais, dira-t-on, après s'être enfoncé, le littoral s'est de nouveau relevé, et les cailloux, devenus les galets du rivage, ont dû être roulés et perdre par conséquent leurs stries. Cela est vrai pour ceux de la surface, cela ne l'est pas pour ceux qui étaient recouverts d'une masse de débris, enterrés dans l'argile ou d'un volume trop considérable pour être déplacés par les vagues. Aussi M. Desor a-t-il fort bien remarqué qu'en Scandinavie comme en Amérique, on trouve plus souvent des *blocs* striés que des cailloux striés, et c'est, enfoncés dans l'argile, ensevelis sous une couche de terrain de transport et mis à nu par des tranchées, qu'on les rencontre habituellement. En résumé, parmi les blocs et les cailloux

---

de *Gulfstream*, dont la chaleur fond sans cesse les glaciers par leur base à mesure qu'ils s'avancent dans la mer.

(1) Les glaciers actuels du Spitzberg étant simples, ils n'ont point de moraine terminale, et le milieu de l'escarpement est dépourvu de blocs ; mais les anciens glaciers scandinaves étant des glaciers éminemment composés, avaient des moraines terminales énormes, et versaient dans l'Océan des quantités prodigieuses de fragments erratiques de tout genre.

striés par les anciens glaciers scandinaves à l'époque où ils atteignaient la mer, un grand nombre ont été déposés sur les bords de cette mer ; ils ont été roulés et ont perdu dès lors toutes leurs stries, ce sont ceux qui composent les œsars. Les autres, transportés à une certaine distance en avant du rivage par le glacier lui-même ou par les glaces flottantes, sont tombés dans une mer profonde où ils étaient à l'abri de l'action des vagues. Là, ils ont été recouverts successivement d'un dépôt de transport qui, lors de l'immersion de la côte, les a préservés de l'action des flots. Ces faits nous expliquent pourquoi le diluvium scandinave se compose à la surface de cailloux roulés au-dessous desquels se trouvent des blocs striés que l'œil exercé d'un géologue familier avec l'étude des glaciers actuels pouvait seul y découvrir.

L'on n'a pas encore tenté d'expliquer le transport des blocs erratiques de la Suisse par les glaces flottantes ; si on l'essayait, on serait arrêté dès l'abord par de grandes difficultés et conduit inévitablement à combiner cette théorie avec celle de l'ancienne extension des glaciers. Imaginons, en effet, qu'on voulût se rendre compte par des glaces flottantes du transport des blocs erratiques de la vallée de l'Arve, depuis Chamonix jusqu'à Genève. Voici les faits qui resteraient inexplicables dans cette supposition : on trouve à l'état erratique, sur le côteau de Saint-Roch, au-dessus de la ville de Sallanches, un grès poudingue contenant des cailloux roses. Ce grès est en place, entre les villages des Ouches et la gorge des Montées, au débouché de la vallée de Chamonix. Il faudrait donc admettre d'abord que l'ancien glacier de l'Arve remplissait toute la vallée de Chamonix ; car on ne peut pas raisonnablement supposer que ces blocs soient tombés précisément au moment où des glaces flottantes passaient rapidement devant eux. Sur les flancs des Voirons, près de Genève, les grès verts de la montagne des Fis ne sont pas rares à l'état erratique. Il faudra donc accorder que les glaciers atteignaient autrefois cette montagne, et qu'ils ont débouché dans la vallée de Sallanches. Mais les Salèves, encore plus rapprochés de Genève que les Voirons, sont couverts de cailloux striés, qui sont du calcaire jurassique, et proviennent par conséquent de la partie de la vallée comprise entre Sallanches et Bonneville. Le glacier s'étendait donc au-delà de Sallanches. On voit que, de proche en proche, on peut faire voir que c'est bien le glacier lui-même qui a transporté les blocs et les débris dont la vallée de l'Arve est jonchée.

Les mêmes exemples s'appliquent au glacier du Rhône. Les euphotides de la vallée de Saas et les serpentines de celle de Zermatt,

qui se trouvent à l'état erratique depuis Genève jusqu'à Soleure, prouvent que ce glacier descendait jadis jusqu'au point où ces deux vallées débouchent dans le Valais. Les blocs monstrueux d'arkesine, de Steinhof, près Berne, que M. Guyot a retrouvés en place dans la vallée d'Erin, montrent que ce glacier atteignait Sion; les blocs de protogine du Mont-Blanc et les poudingues de Vallorsine, si communs à l'état erratique dans la plaine suisse, témoignent qu'il dépassait Martigny. Le calcaire de la dent de Morcles et les gypses de Bex, nous apprennent qu'il a débouché dans la vallée du Léman. A partir de ce point, le glacier recouvrait toutes les basses montagnes de la Suisse et n'était plus dominé par des sommets élevés d'où les blocs erratiques pouvaient tomber à sa surface pour être transportés au loin dans sa progression incessante. Aussi les roches erratiques des formations de la plaine suisse sont-elles infiniment plus rares que celles des hautes montagnes.

Je ne nie point pour cela que les glaces flottantes n'aient pu jouer un rôle dans le transport des blocs erratiques de la Suisse à l'époque de la fonte et du retrait des glaciers. On voit aux environs de Reichenau, dans les Grisons, des œsars bien caractérisés sur lesquels on trouve quelques blocs erratiques. On reconnaît dans la même vallée du Rhin et dans celle de Passeyr en Tyrol, que les moraines ont été remaniées à leur partie supérieure par les eaux résultant de la fusion des grands glaciers (1); mais il est facile de prouver que ces moraines ont été déposées directement par eux et qu'elles ne sont pas uniquement formées de matériaux transportés par les eaux ou par des glaces flottantes.

En résumé, je ne pense pas que l'on puisse expliquer le phénomène erratique en Scandinavie, en Suisse, dans les Pyrénées et dans le nord de l'Amérique, par les glaces flottantes détachées des glaciers, sans admettre implicitement que les glaciers étaient plus grands qu'ils ne le sont actuellement, et sans adopter, par conséquent, la théorie de l'ancienne extension des glaciers telle qu'elle a été formulée par MM. Venetz, de Charpentier, Agassiz et Desor.

M. Nérée Boubée demande la parole :

Personne ne désire plus vivement que moi, dit-il, le triomphe des glaciéristes; et au reste leur cause me paraît si forte par elle-

(1) Voyez *Bulletin de la Société géologique*, t. XIII, p. 345, 2 mai 1842; et *ibid.*, 2e série, t. II, p. 123, 15 décembre 1845.

même, et elle est soutenue par des géologues si habiles, que je crains peu pour elle les discussions même les plus approfondies.

Aussi est-ce avec regret que je vois M. Martins introduire aujourd'hui dans cette thèse un élément que je considère depuis fort longtemps comme une des erreurs de la géologie actuelle, et d'autant que M. Martins saurait certainement très bien démontrer la théorie de l'ancienne extension des glaciers, sans la faire reposer en rien sur cet appui que je crois très mal assuré : je veux parler de cet affaissement et de cet exhaussement des continents que l'on met si facilement en jeu depuis quelques années, et que de tous côtés l'on paraît admettre comme un fait très simple et incontestable; pour moi je crois, au contraire, et j'ai la conviction la plus réfléchie, que cette opinion est une profonde erreur. Je dirai même que depuis huit ou neuf ans j'ai formé et nourri dans mon esprit le projet d'écrire un mémoire spécial à cet égard, projet que la multiplicité de mes occupations m'a seule empêché de réaliser encore, et me porte à livrer aujourd'hui verbalement, ne pouvant supporter plus longtemps le regret que j'ai de voir un principe aussi erroné prendre pied parmi les bases de la géologie.

Je me bornerai donc à dire aujourd'hui que je crois être en mesure de démontrer que ces terrasses, ces cordons, ces lignes *horizontales* que l'on signale chaque jour sur de nouveaux points le long des mers, qui partout sont caractérisés, tantôt par de simples érosions marquées sur les roches du rivage jusqu'à une certaine hauteur, érosions dues à l'action de l'eau de mer ou des coquilles perforantes, tantôt par des sables, des argiles, des galets ou des agglomérats coquilliers *récents*, où l'on trouve les coquilles même qui vivent encore sur place et presque toujours associées à quelques espèces perdues ou qu'on ne connaît qu'en d'autres parages plus ou moins éloignés, et qui s'élèvent tantôt à 10 ou 12 mètres seulement au-dessus du niveau de la mer, ailleurs à 20 et 25 mètres, ailleurs à 50 et 60 mètres, et jusqu'à 250 mètres sur les côtes de la Scandinavie, ainsi que M. Martins vient de nous l'indiquer, ne sauraient être considérées comme annonçant ni des affaissements ni des exhaussements du sol. De cela seul que ce fait est si général qu'on l'observe dans toutes les parties du globe, ne doit-on pas conclure qu'il résulte d'un phénomène général et non pas de causes locales et partielles, qui auraient soulevé à des élévations plus ou moins grandes, tantôt un rivage et tantôt un autre? Pour moi, je ne vois dans ce fait que la conséquence et le complément de celui que j'ai depuis longtemps cité et cherché à expliquer, je veux parler du *creusement des vallées à plusieurs étages* : il est évident

pour moi que l'ensemble des causes qui ont produit ces étages qu'on observe dans la plupart des grandes vallées, étages que l'on compte au nombre de trois, quatre et jusqu'à cinq le long de chaque fleuve, étages qui s'élèvent à 10, 20, 30, 50 et 100 mètres au-dessus des fleuves actuels; il est évident pour moi que ces mêmes causes ont dû laisser à l'embouchure de ces fleuves, et aussi le long des rivages, ces traces et dépôts élevés, ces terrasses successives qui bordent quelques mers, et qu'on attribue sans raison aucune à des exhaussements du sol.

Or, pour rendre plus exactement ma pensée, mais sans vouloir la développer ici à l'improviste, et me réservant de la traiter plus tard, je dirai que le phénomène maintenant reconnu général des anciens niveaux des mers, plus ou moins élevés au-dessus des mers actuelles, n'a rien de commun avec les soulèvements terrestres, mais qu'il se rattache au phénomène tout aussi général et contemporain du creusement des vallées à plusieurs étages; toutefois je ne prétends pas dire qu'il n'y ait par exception quelques rivages dont l'exhaussement ne soit dû à des soulèvements lents ou même à des soulèvements brusques comme celui de la côte du Chili en 1822; mais on n'en peut considérer comme tels qu'un très petit nombre, et moins que tous autres ceux qui présentent des terrasses ou étages successifs.

M. le baron de la Pilaye dit que les bords de la Somme présentent plusieurs étages, tandis qu'on n'en voit pas en Bretagne.

M. Martins donne lecture de l'extrait d'un Mémoire de M. Escher de la Linth.

Gebirgskunde des kanton Glarus. Géologie du canton de Glarus, in-12, 41 pages, avec une carte géologique du canton et une planche offrant 4 coupes. Cette description fait partie du livre intitulé *Der kanton Glarus*, le canton de Glarus, par le Dr Oswald-Heer et J.-J. Blumer-Heer, Saint-Gall et Berne, 1846.

Le canton de Glarus renferme un des plus puissants massifs de la Suisse; M. Escher y a reconnu les formations suivantes :

1° Des cônes et des talus d'éboulements, de la tourbe et autres formations modernes;

2° Des blocs erratiques et d'anciennes moraines;

3° L'alluvion stratifiée ou alluvion ancienne ;

4° Les terrains tertiaires représentés par la molasse, qui se compose elle-même de trois couches : la couche supérieure ou molasse d'eau douce ; la couche moyenne qui a été formée au sein des eaux marines ; enfin la molasse d'eau douce inférieure ;

5° La formation crétacée dans laquelle il distingue cinq étages principaux.

A. Le flisch caractérisé par la présence du *Fucus intricatus* et *F. Targionii*. Les ardoises du Platenberg font partie de cette formation. Elles sont connues depuis longtemps des naturalistes à cause de leur richesse en poissons fossiles ; ceux-ci sont au nombre de quarante-une espèces, distribuées en dix-huit genres, et qui, suivant M. Agassiz, n'ont été retrouvées nulle part ailleurs ; on y a découvert aussi une impression de Tortue, et d'un oiseau que M. de Meyer a rapproché des Passereaux conirostres.

B. L'étage nummulitique se présentant sous la forme d'un calcaire gris, d'un grès vert ou d'un schiste argileux, et renfermant outre les Nummulites, des *Pecten*, des Cônes et le *Gryphæa expansa* Murch.

C. Le calcaire de Seewen représentant de la craie et renfermant l'*Inoceramus Cuvieri* Sow. et l'*Ananchytes ovata* Lam.

D. L'étage à Turrilites avec *Turrilites costatus* Sow., *Ammonites navicularis* Mant., *Inoceramus concentricus* et *I. sulcatus* Sow.

E. L'étage inférieur de la craie renferme le calcaire à Hippurites (*H. Blumenbachii* Stud.) et à *Chama ammonia*, et le calcaire à *Spatangus retusus* Lam., *Exogyra subsinuata* Leym., et *Ostrea carinata*.

6° Les formations jurassiques sont représentées par trois couches principales.

A. Le calcaire alpin qui représente l'oolithe supérieure et moyenne, mais qui contient malheureusement peu de fossiles, parmi lesquels on remarque néanmoins l'*Ammonites biplex* Sow. et le *Belemnites hastatus* Blainv.

B. L'oolithe ferrugineuse est plus riche, car on y trouve : *Ammonites Goweranius* Sow., *A. macrocephalus* Schlot., *A. Parkinsonii*, des Bélemnites : *Ostrea pectiniformis* Schlot., *O. calceata* Goldf., *Terebratula digona* Sow. ; et des Pentacrinites.

7° Des couches sédimentaires, schisteuses, contenant de la houille, et qui paraissent appartenir au terrain carbonifère. Nulle part dans le canton de Glarus les roches cristallines ne sont à nu ; seulement sur le col appelé Sandpass, les schistes contenant du quartz et du talc sont inclinés du N. au S., et vont se perdre sous

les marnes calcaires du Todi. Ils montrent cette disposition en éventail, qui paraît être le caractère de roches gneissiques au contact des roches de sédiment. Ces formations azoïques paraissent être un prolongement du groupe du Finsteraarhorn.

Notre but en faisant cette courte analyse du travail de M. Escher a été d'attirer l'attention des géologues français sur les formations de la partie orientale du N. de la Suisse. C'est là (canton d'Appenzell) qu'on trouve le plus grand nombre de fossiles. Or, on sait que malgré les recherches incessantes de MM. Studer, Escher, Necker, Fournet, Favre, etc., le manque presque total de corps organisés fossiles a toujours été le plus grand obstacle qui ait arrêté la solution des problèmes importants que soulève la structure de la plus haute chaîne de l'Europe.

M. Tallavignes fait la communication suivante :

Résumé d'un Mémoire sur les terrains à Nummulites du département de l'Aude et des Pyrénées, par M. Tallavignes.

INTRODUCTION.

Les questions que soulève l'étude des terrains à nummulites sont nombreuses et complexes. Sans sortir des considérations purement géologiques, l'intérêt qui s'attache à ces terrains me paraît tenir à ceci, que les difficultés soulevées par eux touchent à la méthode et par conséquent aux bases même de la science. Il semble, en effet, qu'on ait en présence, pour la classification de ces terrains, deux arguments, ou, si l'on veut, deux méthodes, l'une paléontologique, l'autre géognostique, et la question paraît ramenée à choisir la meilleure. Ce n'est pas ici le cas d'examiner s'il y avait réellement lieu à poser ainsi la question, ni de rechercher le point précis où en est la solution de cette difficulté. Je ferai seulement observer que l'argumentation employée des deux côtés reposait sur un principe qui n'était pas démontré, quoique accepté des deux parts; à savoir, que les terrains nummulitiques des Pyrénées formaient une seule formation, un seul et unique horizon géognostique. Un des résultats de ce mémoire est d'établir une proposition contraire. Je ne pense donc pas que la question de classification de ces terrains soit définitivement vidée.

L'objet de ce travail n'est pas de comparer ces terrains à ceux du Nord, ni de rechercher la place qu'ils doivent occuper dans la série générale des dépôts de sédiments; je me suis au contraire

attaché à étudier ces terrains en eux-mêmes et indépendamment de toute idée théorique ou préconçue; j'ai cherché à faire connaître d'une façon plus complète, particulièrement sous le rapport géognostique, un des gisements nummulitiques les plus importants, celui de l'Aude, pour lequel on possédait déjà de bons renseignements dans le mémoire de M. Dufrénoy, et dans celui tout récent où M. Leymerie a décrit une grande partie des fossiles qui le caractérisent.

Le résultat général auquel je suis arrivé est d'établir que les couches nummulitiques de l'Aude et des Pyrénées constituent deux formations distinctes par leurs caractères géognostiques et paléontologiques. Les terrains qui constituent la première ne contiennent que des espèces tertiaires ou nouvelles. Le caractère de leur faune est *exclusivement tertiaire*. Les couches qui ont tous les caractères d'une formation indépendante sont ordinairement horizontales, et reposent souvent sans intermédiaire sur le terrain de transition. Je désigne ce groupe sous le nom de *Système Ibérien*. La deuxième formation ne renferme pas d'espèces tertiaires, et n'a jusqu'à présent avec le système précédent aucune espèce commune. Le caractère de sa faune est tout-à-fait distinct, et se rapproche plus des formes crétacées que des formes tertiaires. Les couches sont constamment relevées, et dans l'*Aude* elles sont en stratification discordante avec celles du système précédent. Je désigne ce groupe sous le nom de *Système Alaricien*. Les terrains nummulitiques des Pyrénées centrales appartiennent exclusivement à cette dernière formation. L'horizon nummulitique supérieur ou Ibérien comprend des couches situées plus en dehors de l'axe de la chaîne; il forme sur le versant nord des Pyrénées deux bassins distincts et séparés : le bassin de l'est ou de l'Aude, et le bassin de l'ouest ou des Basses-Pyrénées.

La suite de ce résumé va faire connaître les faits et les méthodes qui ont conduit à cette distinction des deux horizons nummulitiques dans le gisement de l'Aude. Dans une deuxième partie, je ferai connaître les observations que j'ai faites dans les Pyrénées proprement dites.

SECTION I. — TERRAIN NUMMULITIQUE PROPREMENT DIT, OU SYSTÈME IBÉRIEN (1).

Les terrains dont la description fait l'objet de ce travail forment

(1) Voir l'appendice, page 1141.

un bassin circonscrit entre les terrains de transition de la Montagne-Noire au N., et ceux de même nature qui constituent les Hautes-Corbières au S. Les couches qui appartiennent au groupe nummulitique supérieur se présentent en divers points de cette vaste surface avec des caractères minéralogiques et physiques très variés ; mais il est possible d'en suivre la continuité à travers ces diverses transformations.

Les limites qui me paraissent devoir leur être assignées diffèrent notablement de celles indiquées par la carte géologique de France et par la carte modifiée de M. Leymerie. D'après cette dernière, le terrain à nummulites occuperait dans les Corbières tout l'espace compris entre le terrain de transition de ces montagnes et la vallée du Canal. Cette vaste surface me paraît comprendre trois terrains distincts : le terrain à nummulites proprement dit ou supérieur, le système du mont Alaric, le terrain tertiaire moyen. Le terrain à nummulites supérieur est le moins développé des trois en puissance et en superficie ; je le divise en trois types ou faciès que je vais parcourir successivement.

§ 1. *Type de la Montagne-Noire* (*faciès calcaire*).

Le terrain à nummulites est représenté sur le versant S. de la Montagne-Noire par une bande étroite de calcaires qui s'étend sans interruption de Saint-Papoul à Saint-Chinian, s'appuyant constamment entre ces deux points sur le granite ou le terrain de transition. A l'E. de Saint-Chinian, les terrains tertiaires moyens s'appuient directement sur le sol ancien, et le terrain à nummulites reparaît, au milieu des plaines, entouré par les couches miocènes. Il constitue le sommet des collines, au pied desquelles coule l'Orb, entre Pierrerue et Cessenon. Peut-être se lie-t-il par des îlots semblables au lambeau signalé depuis longtemps à Balaruc par Astruc. Je rapporte enfin à ce type l'îlot de Bize, dont il est impossible d'assigner les contours avec précision, à cause des modifications qu'ont subies tous les terrains entre Bize et Saint-Chinian.

Les couches que je viens d'énumérer ont des caractères minéralogiques et un faciès identiques. Ce sont des calcaires blancs quelquefois friables, quelquefois siliceux (meulières de Saint-Julien), le plus souvent compactes, pétris de *Nummulites atacicus* et *globulus* et d'Alvéolines. L'élément marneux n'est représenté que par des lits peu épais de terre grossière et sableuse, où existent des moules assez nombreux de fossiles, et qui sont intercalés entre des couches

calcaires. Au-dessous de ces derniers, le contact avec le sol ancien a lieu par des marnes sableuses, et renfermant peu de fossiles.

Dans le département de l'Hérault, à l'extrémité orientale de la bande nummulitique de la Montagne-Noire, ce système repose directement sur le terrain de transition; des fentes profondes qui ont déchiré le sol, et dans lesquelles coulent des rivières, permettent d'évaluer sa puissance avec précision. Elle est en général inférieure à 50 mètres (Saint-Jean). Dans le département de l'Aude, et particulièrement à l'O., l'ensemble des couches que je viens de décrire repose sur un système peu épais de calcaires compactes très durs et de marnes calcaires blanchâtres qui renferment des fossiles d'eau douce signalés dans le mémoire de M. Leymerie; on peut voir cette superposition de la manière la plus précise à Cennemonestiés. Ce terrain d'eau douce, peu puissant d'ailleurs et concordant avec le terrain nummulitique dont il forme le membre inférieur, repose lui-même sur le sol ancien.

La ligne de séparation du système nummulitique et des terrains de transition est en général droite et les couches continues. La puissance de la portion marine est en général de 40 à 50 mètres; la puissance de tout le système ne me paraît pas dépasser 100 mètres.

Les couches appartenant à ce type sont toujours faiblement inclinées vers le S. Sous le rapport de leur direction, elles constituent deux systèmes remarquables. Depuis son commencement à l'O. de Saint-Papoul jusqu'au delà de Cannes, la bande nummulitique de la Montagne-Noire est en couches à peu près horizontales, et dirigées O. 5 à 6° N. Ces couches sont recouvertes par le terrain tertiaire moyen en couches également horizontales. A partir de Felines Hautpoul, cette bande se trouve brusquement rejetée au N. Les couches nummulitiques et les couches miocènes qui les recouvrent sont fortement relevées et portées à une hauteur considérable. La direction de ce nouveau système, qui s'étend de Felines à Saint-Chinian, est E., 25° N. à O., 25° S. L'angle d'inclinaison des couches est considérable et atteint 25°. La direction de ce système est parallèle à une autre grande ligne de dislocation qui a fortement relevé dans la plaine le terrain à nummulites du troisième type et le terrain miocène, et tracé le lit de l'Aude entre Puicheric et Homps. L'îlot de Bize a seul été soumis à des actions métamorphiques qui rendent sa stratification très difficile à étudier, et ont fair passer le calcaire à l'état saccharoïde.

Si l'on en excepte les couches d'eau douce, il est impossible d'établir dans ce type des étages ou subdivisions. Les fossiles y sont

distribués d'une manière très uniforme. J'ajoute peu de chose pour la connaissance de ces derniers aux travaux de M. Leymerie. Je ferai seulement observer que j'ai retrouvé dans les Corbières plusieurs des fossiles qui étaient considérés comme particuliers à ce type, la *Natica longispira* et le *Nautilus Lamarckii*, par exemple. Je me suis également convaincu qu'il existe dans la Montagne-Noire des moules très nombreux de Turritelles, genre considéré jusqu'à présent comme particulier aux Corbières. Néanmoins, la bande de la Montagne-Noire constitue un gîte paléontologique spécial assez distinct.

Les caractères distinctifs du type de la Montagne-Noire sont les suivants : 1° sous le rapport pétrographique, le grand développement des calcaires ; 2° sous le rapport paléontologique, le développement et l'abondance relative des Échinides et des Nautiles ; la présence exclusive, jusqu'à présent, des genres *Solarium*, *Terebellum* et *Terebellopsis*, l'absence ou le peu de développement des Polypiers ; 3° sous le rapport de la nature du dépôt peu de variabilité dans les caractères sédimentaires, les mêmes couches s'étendant à de grandes distances ; absence de golfes et de fiords.

Espèces habituelles et caractéristiques.

Nummulites atacicus.
— *globulus.*
Alveolina subpyrenaica.
Hemiaster obesus.
Teredo Tournali.
Lucina corbarica.
Ostrea multicostata.
Terebratula montcolarensis.
Neritina conoidea.
Natica longispira.
Terebellopsis Brauni.
Turritella, indét.

§ 2. *Type des Hautes-Corbières.*

Si nous nous transportons maintenant sur la limite S. de la mer nummulitique, nous trouverons dans les Corbières reposant encore directement sur le terrain de transition de ces montagnes des couches puissantes renfermant les fossiles que nous venons d'étudier sur le versant de la Montagne-Noire. Le faciès est ici différent, et l'on peut reconnaître que les conditions du dépôt ont été également différentes. Je range dans ce type le bassin d'Albas et celui de la Caunette ; il devrait également comprendre les terrains de Couiza, de Sainte-Colombe, de Rivel, qui appartiennent à la zone nummulitique de l'Ariège, que je n'étudie pas dans ce mémoire.

Le bassin d'Albas est très remarquable par la grande puissance du terrain à nummulites et les nombreux fossiles qu'il renferme.

Il est constitué minéralogiquement de la manière suivante : à la base, des poudingues à gros éléments alternent avec des marnes rouges, sableuses, consistantes, ayant l'aspect des marnes miocènes de la plaine; ces marnes alternent ensuite avec des grès et de faibles assises de calcaires. Toute cette partie est en général sans fossiles; de nouvelles marnes grises, fortes et plastiques, avec de nombreux fossiles, alternant avec des calcaires blancs, pétris de nummulites et couronnés par des grès grisâtres fossilifères, terminent le système.

Les couches régulièrement dirigées 10° S. plongent au N. sous un angle d'environ 25°. Leur puissance est considérable et ne peut être évaluée à moins de 400 mètres. Prolongées vers l'O., elles ne forment pas de bande continue au-dessus du terrain de transition, comme l'indiquent les cartes. Un puissant terrain tertiaire qui recouvre ces couches au N. s'appuie directement sur ce dernier terrain entre Albas et la Caunette, et constitue les hauts plateaux de La Camp.

La faune de ce bassin est assez bien connue. M. Leymerie en décrit quinze espèces, auxquelles j'en ajoute seize autres. Elle est caractérisée par un grand développement de Natices et de Cérites.

Le gisement de la Caunette présente la plus grande analogie avec les couches d'Albas. La direction et le plongement sont les mêmes. La puissance seule est différente et peu considérable. Sa faune est caractérisée par un grand développement de Polypiers et d'Ostracées. Ce caractère, joint à son attitude élevée et à l'absence de couches nummulitiques entre ce dépôt et celui d'Albas, me fait penser que les deux bassins ne communiquaient peut-être pas. J'indique dans cette localité vingt-une espèces.

On pourrait diviser le bassin d'Albas en deux assises, dont la supérieure serait assez bien caractérisée par les fossiles suivants : *Natica acutella*, *Cerithium acutum*, *Ostrea multicostata*, mais cette division ne s'appliquerait point au gisement de la Caunette.

Les caractères distinctifs de ce type sont : 1° une grande variabilité de caractères minéralogiques, à la différence des deux autres types dont les caractères minéralogiques sont constants; 2° l'absence des fossiles qui caractérisent si bien le 3e type, les *Terebratula tenuistriata*, *Ostrea lateralis*, *Serpula quadricarinata et Operculina pulchella* (mihi); la prédominance dans sa faune des Natices et des Cérites; 3° la nature du dépôt qui paraît avoir eu lieu dans des bassins séparés. Il tient le milieu par tous ses caractères entre les deux autres types.

Espèces habituelles du type des Hautes Corbières.

Nummulites atacicus Leym.
— *globulus* Leym.
Alveolina subpyrenaica Leym.
Teredo Tournali.
Ostrea gigantea Dubois.
— *multicostata* —
Chama gigas Desh.
Lucina corbarica Leym.
Natica acutella Leym.
— *albasiensis* Leym.
— *brevispira* Leym.
Neritina conoidea Lam.
Turritella imbricataria Lam.
Cerithium acutum Lam.
— *albasiense* Leym.
— *Venei* Leym.
— *involutum* Lam.
Fusus bulbiformis Lam.

§ 3. *Type des Basses-Corbières.*

Les couches du bassin d'Albas sont recouvertes par un dépôt formé de roches marno-arénacées, rougeâtres, alternant avec des calcaires d'eau douce, et qui n'est autre que le terrain tertiaire moyen. Si on suit ces dépôts jusque vers les bords du Rabe, on verra paraître au-dessous, des couches puissantes de marnes noires et de grès, pétries de nummulites et de turritelles qui ont un faciès distinct des couches d'Albas, distantes seulement de quelques kilomètres. Ce dépôt est le type nummulitique que je désigne sous le nom de *Type des Basses-Corbières.*

Les couches qui composent ce type d'une grande constance de caractères constituent le bas des collines qui bordent le Rabe de Castouge à Saint-Laurent; elles contournent le plateau élevé qui sépare les plaines de Fabresan et de Tourninan, pénètrent par une gorge étroite où coule la Nielle dans la pleine de Fabresan, qu'elles constituent presque en entier, et s'enfoncent par une espèce de golfe au milieu du massif du mont Alaric, vers Pellat. Au S. du plateau dont je viens de parler, ces couches suivent exactement la limite des calcaires de Lagrasse sur lesquels elles reposent, forment la plaine de Tournissan, le bas de la haute montagne de Lacamp, dont le haut est tertiaire, la vallée d'Agne où une grande dénudation a emporté ce dernier terrain, s'enfoncent par un nouveau golfe dans le massif du mont Alaric vers Montlaur et Roquenegade, et constituent les collines qui s'appuient sur les couches d'Alaric, de Pradelles, jusqu'à Monze. Sur le versant N. du mont Alaric, ces mêmes couches forment une bande continue au pied de cette montagne, de Capendu jusqu'à Fontcouverte; elles s'écartent ensuite pour constituer le bas du plateau entre Moux et Lézignan, se présentent constamment à la base du terrain miocène vers Tourouzelle, sur la rive droite de l'Aude, qu'elles fran-

chissent enfin à Argens pour constituer sur la rive gauche le gisement de Roubia, qui n'est plus qu'à quelques kilomètres de l'îlot de Bize.

Ce terrain, distribué géographiquement d'une manière si capricieuse, est d'une uniformité de caractères remarquable. Il se compose toujours à la base de marnes noires schisteuses avec de très minces couches de calcaire compacte intercalées. Dans leur partie supérieure, ces marnes deviennent sableuses et alternent avec des grès grisâtres, grossiers, passant quelquefois au poudingue. Les marnes sont pétries de Nummulites et de Turritelles; les grès abondent en Cérites et *Ostrea multicostata*. Il n'y a pas de différence à cet égard entre Roubia et Monze, entre Tourouzelle et Coustouge.

Ces couches abondent en fossiles; elles renferment presque tous ceux des deux autres types et d'autres qui jusqu'à présent leur sont particuliers. Ce sont précisément l'*Ostrea lateralis* et la *Terebratula tenuistriata*, qui d'après M. Leymerie existent à Gensac et à Mauléon, associées à des fossiles du grès vert. Ces fossiles sont habituels et caractéristiques dans ces marnes; ils se retrouvent à de grandes distances associés à des Nummulites, des Serpules et des piquants de Cidaris, qui donnent à la faune de ces terrains un caractère tout particulier. Néanmoins, l'ensemble des fossiles est le même que dans les deux autres types, et l'on retrouve dans celui-ci la presque totalité des espèces que renferment les deux autres. L'*Ostrea gigantea* y joue, comme dans le type précédent, un grand rôle, et y forme quelquefois des couches de plus d'un mètre d'épaisseur. Enfin, dans les golfes et les anses, se développent des faunes spéciales fort curieuses, dont je tâche de restituer quelques unes (1).

Ce terrain, si uniforme sous le rapport de ses caractères, l'est très peu sous celui de la direction et du plongement, ce qui est en partie une conséquence de sa distribution géographique. Les dislocations qui l'ont affecté ont en général relevé en même temps le

---

(1) Ce Mémoire était composé et déjà sous presse lorsqu'a paru le numéro du *Bulletin* qui rend compte de la séance du 3 mai 1847, et qui contient une notice de M. Delbos sur les terrains nummulitiques du bassin de l'Adour. Ce n'est pas sans intérêt qu'on verra dans les environs de Dax la partie inférieure des terrains nummulitiques, constituée par des marnes noires à Térébratules, contenant précisément les fossiles qui, dans l'Aude, caractérisent le type des Basses-Corbières : les *Terebr. tenuistriata*, *Ostrea lateralis*, *Serpula quadricarinata*, *Ostrea gigantea*, etc.

terrain tertiaire moyen qui le recouvre presque partout. Je me borne à rappeler ici la dislocation qui a affecté ce terrain au milieu de la plaine de l'Aude, entre Castelnau et Roubia, et dont la direction O. 25° N. est parallèle à la grande dislocation de la Montagne-Noire que j'ai indiquée précédemment. La puissance de ce terrain est d'environ 100 mètres. Elle atteint son maximum sur les pentes de Lacamp et son minimum dans la plaine de Fabresan, où les grès supérieurs ont été en grande partie érodés.

A Coustouge, ce terrain repose directement sur des couches d'eau douce, dont l'âge géologique n'est pas suffisamment déterminé (1), et qui constituent un plateau élevé entre Coustouge, Caragulhes et Dones; à Cannettes, et entre Pradelles et Monze, sur une longueur d'environ 8 kilomètres, on voit les couches qui constituent ce type reposer sur les calcaires du mont Alaric dont il sera bientôt question. A Fontcouverte, à Pellat, elles s'appuient sur le terrain de transition qui affleure en ces deux points. Cette diversité des terrains sur lesquels reposent les strates appartenant à ce type en fait ressortir l'indépendance. Mais en dehors des points que je viens de citer, où la stratification est évidente, il est des localités où les relations avec les autres terrains du type qui nous occupe sont plus difficiles à observer.

Les caractères distinctifs de ce type sont : 1° d'être constitué minéralogiquement par des marnes noires à Turritelles terminées par des grès avec *Ostrea multicostata et Cerithium*; 2° l'abondance et jusqu'à présent la présence exclusive des *Terebratula tenuistriata*, *Operculina pulchella*, *Ostrea lateralis*; 3° de former des golfes et fiords dans des couches plus anciennes.

Liste des fossiles habituels.

Nummulites atacicus Leym.
— *globulus* Leym.
Operculina pulchella nov. sp.
Astrea (*Porites* Leym.) *elegans*.
Serpula quadricarinata.
Teredo Tournali Leym.
Ostrea gigantea Brauder.
— *multicostata* Desh.
— *lateralis* Nils
Lucina corbarica Leym.
Cytherea custugensis Leym.
Venericardia minuta Leym.
Chama gigas Desh.
Terebratula tenuistriata Leym
— *Venei* Leym.
Turritella imbricataria Lam.
— *carinifera* Desh
Cerithium indét.
Fusus bulbiformis Lam.
Voluta ambigua Lam.

(1) Je ne pense pas que ce terrain soit le représentant des couches d'eau douce de la Montagne-Noire; il paraît au contraire se lier au terrain crétacé inférieur.

Les dispositions stratigraphiques très variées des couches de ce type peuvent néanmoins se ranger sous deux chefs principaux. Lorsque les couches antérieures présentent leur dos, le dépôt des marnes noires s'est effectué exactement au-dessus d'elles, sur la même verticale, et la stratification, sauf la différence d'inclinaison des deux terrains, peut paraître concordante (Coustouge, Monze, Pradelles). Lorsque, au contraire, les bords de la mer nummulitique étaient formés par des couches présentant leurs têtes, le dépôt des marnes s'est effectué de façon à se juxtaposer contre les couches plus anciennes, de telle sorte qu'un plan mené perpendiculairement à la ligne de séparation présenterait d'un côté des couches appartenant au terrain ancien, et de l'autre des marnes noires. Ce dernier mode est celui que présentent les couches de ce type dans leurs relations avec le terrain crétacé inférieur (Villerouge-la-Crémade), avec le terrain d'Alaric (Roquenegade, Fabresan), et avec le terrain jurassique (Coustouge, Jonquières).

On peut diviser ce type en deux étages : 1° l'étage inférieur, composé de marnes noires alternant avec des couches minces de calcaire, serait caractérisé par les *Terebratula tenuistriata*, *T. Venei*, *Ostrea lateralis*, etc., qui s'y présentent exclusivement; 2° l'étage supérieur, composé de marnes sableuses et de grès grisâtres, serait caractérisé par l'absence des fossiles précédents et l'abondance des Cérites et de l'*Ostrea multicostata*.

Tels sont les traits principaux qui caractérisent chacun des types du terrain nummulitique supérieur ou Ibérien de l'Aude, envisagés isolément. — Si l'on considère ce terrain dans son ensemble, on remarquera que les différences qui caractérisent les types que j'y ai signalés portent principalement sur la nature minéralogique des dépôts et la distribution des fossiles, mais que la masse générale des espèces est constante, un grand nombre d'entre elles se trouvant à la fois dans tous les types et dans tons les étages. On est dès lors conduit à penser que ces types ne constituent que des faciès différents d'un seul terrain, d'un seul et même horizon géognostique. Les observations stratigraphiques confirment pleinement cette vue. Une coupe d'Albas à Coustouge montre, en effet, que les couches de ces deux gisements s'enfoncent semblablement sous les terrains d'eau douce, dont les couches sont inclinées en sens inverse, de telle sorte que le bassin d'Albas se trouve au même niveau géologique que celui de Coustouge; tandis que, d'après sa position sur les couches de transition, on eût pu le croire inférieur à ce dernier. On montrerait de même que les couches des Basses-Corbières et de la Montagne-Noire sont dans un rapport semblable

par rapport aux terrains miocènes de la vallée de l'Aude. Le terrain nummulitique supérieur ou Ibérien de l'Aude constitue donc un *seul horizon géognostique et paléontologique*. J'ai montré de plus que cet horizon unique était *parfaitement indépendant*, puisque chacun des trois types repose sur des terrains fort différents, et souvent directement, et sans intermédiaire sur le terrain de transition.

Les fossiles les plus caractéristiques du système nummulitique Ibérien dans le gisement de l'Aude considéré dans son ensemble, sont les suivants :

Nummulites atacicus,
— *globulus*,
Alveolina subpyrenaica,
Turbinolia sinuosa,
Ostrea gigantea,
— *multicostata*,
Lucina corbarica,
Neritina conoidea,
Natica brevispira,
Turritella imbricataria,
Cerithium acutum.

Il est remarquable que ces espèces, qui sont les plus habituelles dans l'Aude, sont aussi celles qui ont la distribution géologique la plus étendue. La plupart des fossiles précédents sont répandus dans un grand nombre de gîtes nummulitiques, qu'il est bien difficile de ne pas regarder comme contemporains. La *T. imbricataria* existe à Bayonne, en Espagne, dans le Vicentin, à Faudon, dans le Salzburg, à Althofen en Carinthie, en Crimée et en Egypte. La *Neritina conoidea* et l'*Ostrea gigantea* ont une distribution presque aussi étendue, et ces espèces sont bien connues depuis longtemps dans l'étage tertiaire inférieur de Paris et de Londres.

SECTION II. — SYSTÈME DU MONT ALARIC.

Les couches nummulitiques qui constituent le troisième type occupent en général des plaines peu élevées ; au milieu d'elles s'élève, comme une île, un système de calcaires et de grès marno-calcaires dont la crête principale court suivant la direction de O. 16° N. Le point culminant de cette petite chaîne, désignée collectivement sous le nom de mont Alaric, atteint 601 mètres. Des roches semblables constituent tous les environs de Lagrasse ; prolongées vers l'E., elles forment une chaîne élevée qui sépare les deux plaines de Fabresan et de Tournissan, occupées toutes les deux par des marnes noires à Turritelles, appartenant au système nummulitique supérieur.

La distribution géographique de ce système est assez particulière.

Les couches qui le constituent, bien que formant une masse continue, sont séparées par des vallées allongées qui forment au milieu des massifs des espèces de digitations occupées en général par le terrain nummulitique supérieur. Cette circonstance permet de diviser les couches du système d'Alaric en cinq petites chaînes. Le terrain de transition perce les couches de ce système en deux points, aux environs de Fontcouverte et près de Pellat; cette disposition laisse apercevoir les couches inférieures.

Les fossiles sont rares dans ce terrain, et lorsqu'ils existent ils sont mal conservés. J'en ai rassemblé environ 40 espèces que j'ai décrites et figurées avec l'aide et le concours d'un paléontologiste éminent, M. Deshayes. On en trouvera la liste ci-après. Presque toutes ces espèces sont nouvelles. Elles ne se rencontrent point dans le terrain éocène du Nord ou dans les divers gisements du terrain nummulitique supérieur ou Ibérien. Elles se retrouvent au contraire dans diverses couches des Pyrénées centrales, de la Haute-Garonne, de l'Ariége et de l'Aude, qui me paraissent constituer un horizon distinct, inférieur au précédent, que je désigne sous le nom d'alaricien. Le caractère zoologique des faunes de ces deux systèmes est fort différent, même dans les espèces qui n'ont pu être rigoureusement déterminées. Les *Natica*, par exemple, se rapprochent plus par leurs formes des Natices crétacés de Soulatge que de celles si abondantes dans le terrain nummulitique supérieur. Il en est de même des Ostracées, des Echinides et de Polypiers. *Les caractères paléontologiques du système alaricien sont donc tout à fait distincts de ceux des terrains nummulitiques supérieurs.*

Les raisons géognostiques sur lesquelles je m'appuie pour séparer le groupe du Mont-Alaric du terrain nummulitique supérieur ou Ibérien sont les suivantes : 1° le système du Mont-Alaric ne peut être regardé comme la partie inférieure des marnes noires nummulitiques qui le recouvrent en général, car ces mêmes marnes ne reposent pas toujours sur les couches d'Alaric (Coustouge, Fontcouverte, Roubia), et les couches d'Alaric ne sont pas toujours recouvertes par des marnes noires (Floure, Barbaira); il y a donc *indépendance* entre les deux formations; 2° la descente vers Monze montre les marnes noires reposant directement sur le dos des couches d'Alaric, et la stratification peut paraître concordante; mais si l'on suit ces marnes dans les vallées et fiords qu'elles forment au milieu des couches d'Alaric, on observe que lorsque les couches qui encaissent la vallée présentent leurs têtes, les couches du terrain nummulitique supérieur se sont déposées au pied de ces collines en se juxtaposant contre elles (Roquenegade). Quelquefois les couches supérieures déposées dans le bas des vallées sont

inclinées dans le même sens que les couches du système d'Alaric, qui forment des collines encaissantes ; c'est ce qui arrive dans la plaine de Fabresan ; des marnes noires constituent cette plaine, au milieu de laquelle coule l'Orbieu, et dont le niveau général est inférieur à 100 mètres. Leurs couches plongent légèrement au S. et semblent passer par dessous les calcaires du plateau élevé de Lacostes, qui sépare les plaines de Fabresan et de Tounisan. Un observateur qui n'aurait vu que cette localité échapperait difficilement à cette conclusion. Cette disposition se montre sur un développement en ligne sinueuse de plus de 10 kil. Du côté opposé de cette même plaine, au lieu dit le Congoust, les marnes noires nummulitiques en assises horizontales ou faiblement rompues viennent buter au pied des couches du massif culminant d'Alaric qui, en ce point, ont subi les dislocations les plus bizarres et les plus variées, et ont même atteint la verticale. Cette cause ne permet pas de douter que le soulèvement principal du mont Alaric ne se fût effectué avant le dépôt du système nummulitique proprement dit. Le niveau général des marnes noires ne dépassant guère 100 mètres (à Roubia il n'atteint pas 40 mètres), on peut en conclure que le mont Alaric, déjà soulevé, formait au milieu de la mer nummulitique une grande île élevée d'environ 500 mètres. Ce relèvement des couches d'Alaric a été le trait dominant de la distribution géographique des terrains nummulitiques proprement dits du troisième type, qui semblent ordonnés par rapport à ce dernier système.

Cette disposition réciproque des calcaires d'Alaric et de Lagrasse et des marnes noires des plaines avait été aperçue depuis longtemps, et il est impossible qu'elle ne frappe pas tous les observateurs. M. Leymerie l'avait attribuée à un changement de faciès, et avant lui M. Dufrénoy l'avait expliquée au moyen d'une faille. Il faut reconnaître que cette dernière explication était parfaitement plausible, et même qu'un observateur qui n'aurait vu que les localités indiquées par M. Dufrénoy eût été amené forcément à la même conclusion, mais il est facile de se convaincre que cette manière de voir est inadmissible : en effet, 1° cette disposition s'observe suivant une ligne *sinueuse* de plus de dix lieues de développement et l'on ne saurait admettre une faille suivant une direction aussi capricieusement curviligne ; 2° les couches de marnes noires appartenant au terrain nummulitique supérieur qui à Monze reposent sur le dos des calcaires d'Alaric viennent buter à Roquenegade contre la tranche de ces derniers sans solution de continuité ni *changement de niveau*, et l'idée même de faille implique celle de variation dans le niveau.

Je conclus de là que *les caractères géognostiques du système du mont Alaric sont tout à fait distincts de ceux des terrains nummulitiques du système supérieur ou Ibérien, et qu'il y a entre eux dans l'Aude une véritable discordance de stratification.*

Les couches du système d'Alaric ont subi un grand nombre de dislocations : des failles nombreuses, particulièrement aux environs de Lagrasse, en rendent l'étude fort difficile. Les directions principales sont O. 16° N. (la direction même des Pyrénées) pour la chaîne principale d'Alaric, et N. 25° E. pour le massif où se trouve le point culminant. La chaîne principale d'Alaric entre Monze et Moux a ses couches disposées en forme de selle ou de manteau, et présente, du côté de la vallée de l'Aude, les mêmes couches que vers l'intérieur des Corbières, de telle sorte qu'un observateur qui irait de Capendu à Pradelles, par exemple, marcherait constamment sur la même couche. Les autres massifs ne présentent pas la même disposition ; ils forment, soit des plateaux dont les couches, à peu près horizontales au milieu, vont en s'abaissant brusquement du côté des vallées (plateau de Lacoque, vallée d'Agne, Caunettes), soit de petites chaînes présentant dans ces vallées les têtes de leurs couches (Tournissan, Fabresan).

Tels sont les faits qui m'ont amené à considérer les couches du mont Alaric comme un système géognostiquement et paléontologiquement distinct du terrain nummulitique proprement dit ; la présence dans les couches d'Alaric d'un grand nombre de fossiles qui se retrouvent dans les Pyrénées centrales, où manquent complètement les espèces du terrain nummulitique supérieur, m'a conduit à synchroniser ces deux terrains. L'étude des lieux et l'examen des riches collections rapportées des Pyrénées par M. Dufrénoy, et libéralement mises par lui à ma disposition, m'ont convaincu de la justesse de cette vue et de la distinction constante des deux systèmes.

En exposant les faits qui m'y ont conduit, j'ai cherché à être clair et précis. Si je n'y ai qu'imparfaitement réussi, je prie qu'on me tienne compte des difficultés du sujet. Ces difficultés, ceux qui ont étudié ces terrains les savent ; ceux qui ne l'ont pas fait les peuvent soupçonner au nombre et à la diversité des opinions émises.

Liste des espèces du mont Alaric.

Nummulites Sabothi, n. sp. — Pradelles, Mont-Saboth (Haute-Garonne).
— *Garumnæ*, n. sp. — Commelles, Boussan (Haute-Garonne)
— *id.*, indét. — Pradelles.
Alveolina, esp. non dét. — Marsoulas (Haute-Garonne).

Orbitolites, esp. non dét. — Pradelles.
Miliolites, esp. non dét. — Mont Alaric.
Turbinolia, esp. non dét. — Plateau de Lascostes (Fabresan), Quillan (Aude).
Astræa, esp. non dét. — Caunettes.
Lunulites punctatus? Leym. — Pradelles, Mauran (Haute-Garonne).
Cidaris Gothorum, n. sp. — Pradelles.
Catopygus affinis? Ag. — Capendu.
— *parvulus?* Ag. — Capendu.
Echinolampas navicella, n. sp. — Pradelles.
— *ovulum*, n. sp. — Pradelles.
— *Deshayesi*, n. sp. — Comelles, Orignac (Hautes-Pyrénées).
Hemiaster Alarici, n. sp. — Comelles.
— *nucleus*, Desor. — Comelles (esp. crét.).
— *globosus?* Desor. — Comelles.
— *subcubicus*, n. sp. — Pradelles.
— indét. — Capendu.
Terebratula Alarici, n. sp. (1) — Comelles, Le Bordier (Haute-Garonne), Belbèze (Haute-Garonne).
— *sarracena*, n. sp. — Comelles, Comigne, Monlaur.
— *tenuistriata?* Leym. — Comigne.
Ostrea Wisigotharum, n. sp. — Monze, Pradelles, Moux, Alet.
— *Frecheti*, n. sp. — Lagrasse, Frechet (Haute-Garonne), Aurignac (Haute-Garonne).
— *Rollandi*, n. sp. — Plateau de Las Costes (Fabresan), Belesta (Ariége), env. d'Alet, Pech del Brau.
Gryphæa, *Dufrénoyi*, n. sp. — Ribaute, Belesta, Foncirque.
Spondylus, indét. — Pradelles.
— indét. — Comelles.
Lima, indét. — Nebias, Alet. Calcaire pisolitique de Paris?
Teredo, indét. — Comelles, Pradelles.
Crassatella, indét. — Caunettes, Mas d'Azil? (Ariége).
Natica, indét. — Capendu.
— indét. — Caunettes.
Cerithium? indét. — Marbre de Ribaute.
— indét. — Sommet d'Alaric.
— indét. — Caunettes, Belesta.
Turritella disjuncta, n. sp. — Caunettes, Roveredo?
Solarium, indét. — Caunettes.

APPENDICE.

Ce n'est qu'à regret que je me suis décidé à proposer des dénominations nouvelles, mais j'ai dû le faire pour éviter de perpé-

(1) Cette espèce et la *Terebratula monteolarensis* de M. Leymerie, dont elle est extrêmement voisine, ne sont peut-être que des variétés de la *Terebratula biplicata*. C'est du moins l'opinion de M. Davidson.

tuelles confusions. Il est visible d'ailleurs qu'aucun des termes imaginés pour désigner ces terrains n'était acceptable ; ces termes se réduisent à trois : le terrain nummulitique de la plupart des auteurs, le terrain épicrétacé de M. Leymerie, le terrain hétrurien de M. Pilla. Le mot de terrain nummulitique me paraît devoir être absolument rejeté. Un terrain ne saurait être désigné par le nom d'un genre de fossiles qui peut se trouver à la fois dans des horizons fort distincts et donner lieu ainsi à des assimilations inacceptables. M. Leymerie caractérise son terrain épicrétacé de la manière suivante : géognostiquement, il comprend sous ce nom toutes les couches qui dans le bassin méditerranéen se sont déposées entre la molasse et le calcaire à Rudistes qui serait pour lui le représentant de la craie blanche; paléontologiquement, il assigne comme fossiles caractéristiques un certain nombre d'espèces décrites et figurées dans son Mémoire ; de plus, les couches renfermant ces fossiles formeraient un horizon unique et lié géognostiquement au calcaire à Rudistes auquel elles sembleraient même passer. (*Mém. Soc. géol.*, t. I, 2e série, p. 343 et 357.) Ainsi entendu, le mot d'épicrétacé ne me paraît correspondre à rien de réel. En effet, il existe dans le bassin méditerranéen, entre la molasse et le calcaire à Rudistes, plusieurs horizons fort distincts par leurs caractères géognostiques et paléontologiques. Le but de ce Mémoire est précisément de caractériser deux de ces horizons que je désigne sous les noms d'Ibérien et d'Alaricien. Le système alaricien seul se trouve lié géognostiquement au terrain crétacé. Les fossiles que M. Leymerie donne comme caractérisant l'ensemble de son terrain épicrétacé se trouvent au contraire exclusivement dans le système Ibérien, lequel n'est jamais en liaison avec le calcaire à Rudistes. Le mot d'épicrétacé implique d'ailleurs des idées théoriques que le système moderne de nomenclature cherche à éviter. — Reste le mot de terrain hétrurien, proposé par M. Pilla pour désigner le macigno toscan qu'il considérait comme identique aux terrains nummulitiques de Biaritz, de la Montagne-Noire, du Vicentin et de la Crimée. Cette dénomination offre de graves inconvénients : 1° elle présente comme certaine l'identité géologique du macigno toscan et des gisements nummulitiques qui viennent d'être cités. Or, même après ce travail de M. Pilla, il est permis, conformément à l'opinion de M. Savi et d'autres géologues, de révoquer en doute la justesse de cette assimilation; 2° elle donne comme type classique d'un terrain dont la place dans l'échelle géologique est vivement contestée un gisement, celui de la Toscane, qui est précisément dépourvu de tous fossiles autres que des fucoïdes, et dont, par

conséquent, il est très difficile, sinon impossible, de restituer avec un degré de précision convenable la caractéristique paléontologique.

Il resterait à examiner si la distinction qui vient d'être faite s'applique aux autres gisements nummulitiques et si elle peut servir à la solution de la question de classification. Dans le sens où je les ai employés, ces mots d'Ibérien et d'Alaricien s'appliquent à des groupes de couches des Pyrénées assez bien caractérisés par leurs caractères géognostiques et paléontologiques pour former des unités géologiques distinctes. Ce Mémoire étant avant tout descriptif, je ne puis examiner ici comment cette division se pourrait appliquer aux autres gisements nummulitiques; ce serait là la matière d'un travail spécial qui embrasserait toute la partie systématique de la question. Je me contenterai d'énoncer quelques rapprochements sans pouvoir développer les raisons sur lesquelles je les appuie. — Je considère comme constituant un même horizon géognostique correspondant au système que j'ai désigné sous le nom d'Ibérien : sur le versant nord des Pyrénées, les terrains nummulitiques de Biaritz, de Bayonne, de Dax et de Montfort, ceux des environs de Pau, décrits par M. Alexandre Rouault, une partie de ceux de l'Aude et de l'Ariége. Sur le versant méridional, les couches appartenant à ce système paraissent occuper une surface très considérable qui s'étendrait, sans solution de continuité, de Rose à Pampelune. Je rapporte au même groupe le Vicentin, une partie du gisement nummulitique de Nice (La Palarea, Fontana-Giarrié, non pas les Baussi-Rossi et le pas de Brauss), les terrains nummulitiques de Crimée et d'Egypte, ceux de la Dalmatie, de la Carinthie (Althofen) et du Kressemberg. Tous ces gisements ont une faune à peu près identique et à caractères zoologiques exclusivement tertiaires. Dans quelques uns d'entre eux les couches renfermant les fossiles tertiaires reposent directement sur des terrains autres que le terrain crétacé, sur le terrain de transition à Althofen, dans le Vicentin, sur le terrain jurassique. — Les terrains que je viens d'énumérer forment un horizon géognostique et paléontologique distinct qu'il est facile de suivre depuis les Asturies jusque dans l'Indostan (pays de Cutch) et qui est nettement caractérisé et séparé du terrain crétacé, 1° par le caractère tertiaire de sa faune, 2° par l'indépendance de son gisement. Entre cet horizon et celui du calcaire à Rudistes également défini et constant, il y a certainement d'autres groupes de couches que l'étude encore si incomplète du bassin méditerranéen ne permet pas, dès à présent, de caractériser et de poursuivre. Ce n'est donc qu'avec doute que je rapproche du système alaricien qui comprend la majeure partie des terrains nummulitiques des Pyrénées, les couches nummulitiques de la Brianza,

bien distinctes de celles du Vicentin, et le macigno de la Toscane. Enfin cet horizon me paraît devoir exister sur le versant nord des Alpes (au pied de l'Untersberg, à en juger par les coupes de MM. Sedgwick et Murchison) et dans les environs de Bellune et d'Udine. Je ne dis rien des terrains nummulitiques de la Suisse ainsi que de ceux des Carpathes dont la faune et la géognosie sont encore trop imparfaitement connues. — Quant à comparer ces terrains à ceux du nord, l'étude de la géognosie du bassin méditerranéen est trop peu avancée pour qu'on puisse le faire convenablement. Avant de comparer et de conclure, il est nécessaire d'étudier les faits en eux-mêmes et de les laisser s'accumuler. Dans ce travail, je n'ai voulu qu'une chose, établir et caractériser deux groupes de couches des Pyrénées, jusqu'à présent confondus. Puisse cette distinction être utile plus tard à ceux qui entreprendront l'étude si intéressante, au point de vue de la paléontologie générale, du bassin méditerranéen! (V. l'explic. de la planche, p. 1162).

M. Delbos lit la lettre suivante de M. Ch. Desmoulins.

Château de Lanquais, par Lalinde (Dordogne), 8 juin 1847.

Monsieur le Président,

Je profite de l'occasion qui m'est offerte par l'échantillon de Lichen joint à la lettre que vous venez de lire (voir ci-dessus, page 1109) pour vous présenter quelques observations relatives au silex sur lequel ce lichen s'est développé. Vous trouverez encore sur son étiquette ces mots : *de la craie de Maëstricht*, que M. Desor a prononcés devant la Société, dans sa séance du 18 janvier dernier, en lui lisant un fragment d'une de mes lettres (*Bulletin*, 2e série, t. IV, p. 423). Je suis tout prêt à renoncer à mon erreur, dès que l'assimilation, examinée en détail, aura été jugée fausse, ou plutôt dès qu'il aura été proposé, après examen des pièces, quelque chose que je puisse mettre à la place de l'hypothèse annoncée : et je ne nie pas que je ne sois fort effrayé de voir deux savants, aussi haut placés que MM. d'Archiac et Delanoue, répugner si fortement à l'idée de son adoption. Néanmoins, permettez (et nos deux honorables collègues, qui semblent attendre de moi quelque essai de justification, voudront bien également le permettre) que je vous expose, aussi sommairement que possible, les diverses circonstances qui nous ont pour ainsi dire forcés à nous réfugier à l'abri de cette hypothèse, incapables que nous nous trouvions d'expliquer les faits observés par nous dans le midi du Périgord.

Il est évident que les silex auxquels je fais allusion sont au

nombre de ceux « qu'ont abandonnés derrière elles, comme des » témoins irrécusables de leur puissance et de leur énergie, ces » dénudations de la craie », dont M. d'Archiac a constaté l'existence, dans ses belles et consciencieuses *Études sur la formation crétacée*, 2e partie (*Mém. Soc. géol.*, 2e sér., t. III, p. 134). « Ces amas de » silex, continue-t-il, le plus ordinairement brisés, mais non roulés, » empâtés dans des argiles sableuses, grises, blanches ou rougeâtres, » nous représentent les éléments insolubles de la masse de craie » dont ils faisaient autrefois partie intégrante (p. 135) ».

Il y a quinze ans que j'habite le midi du Périgord ; il y a quinze ans que j'en étudie l'histoire naturelle et que j'y recueille, outre ce que nécessitent mes travaux spéciaux, des notes, des échantillons ou même de simples observations géologiques; et je me hâte, avec bonheur, de dire que la description faite de ces silex, par notre savant collègue, est d'une exactitude si rigoureuse, que je ne sais pas un mot qui puisse en être retranché (quelle que soit l'*attribution* à laquelle on doive s'arrêter un jour), pas un non plus qui puisse être ajouté au genre de description que l'auteur avait en vue, je veux dire à un signalement général et sommaire. Tout ce que j'y pourrai joindre se composera de ces menus détails qui étaient étrangers au plan de l'ouvrage de M. d'Archiac, et qui n'acquièrent aujourd'hui quelque importance qu'au point de vue de la question particulière qui nous occupe.

Ainsi, je dirai d'abord que, quoique je n'aie parcouru qu'en diligence la portion de route qui sépare *Campsegret* (1) de la descente de *Saint-Mamest*, je crois pouvoir reconnaître avec certitude quelques unes des variétés de mes *silex* dans les « *grès* en » rognons aplatis, de $0^m,30$ à $0^m,60$ de longueur, très durs, » blanchâtres, zonés de brun ou de rose, compactes par place, » agathoïdes ou smalloïdes, renfermant des moules de coquilles » marines accumulées çà et là; parmi ces fragments, nous en » avons recueilli qui étaient pétris de Spatangues d'une nouvelle » espèce ». C'est encore M. d'Archiac qui donne cette exacte, cette irréprochable description (*Études*, etc., 1re partie; *Annal. des scienc. géol.*, 2e année, 1843, p. 14). — Pour plusieurs de ces variétés, le mot *grès* est plus rigoureusement approprié, attendu la structure *grenue* qu'elles présentent (voir l'échantillon avec lichen, et celui marqué II); mais leur identité avec les silex à pâte fine est si parfaite sous le triple rapport de la nature, du gise-

(1) J'ai vu ces silex avec leurs fossiles caractéristiques à 6,000 mètres de là, à la Monzie-Montastruc.

ment et des fossiles qui s'y rencontrent, que je les ai toujours comprises sous le nom commun de *silex*, réservant le nom de *grès* pour les roches à grains cristallins et distincts, à empreintes uniquement *végétales*, qui appartiennent au terrain tertiaire (molasse d'eau douce), servent à paver la ville de Bordeaux, et sont généralement connues sous le nom de *grès de Bergerac*. — Quant aux Spatangues que M. d'Archiac a rencontrés dans ces rognons, il a eu raison de les considérer comme une espèce nouvelle. En 1835, dans mes *Tableaux synonymiques*, je les avais assimilés, d'après les gravures de Goldfuss, à son *Spatangus Bucklandii;* mais M. Desor leur impose le nom nouveau d'*Hemiaster buccardium*, et son étiquette, écrite l'hiver dernier à Paris, porte ces mots : « l'espèce n'est pas » assez haute en arrière pour être le *Bucklandii*. »

Souffrez une digression, monsieur le Président; elle a pour but d'en finir, avant de passer à d'autres sujets, avec ce que j'ai à dire à propos de ce Spatangue. Il y a des rognons où on le trouve seul; dans d'autres, il est remplacé par l'*Echinolampas Faujasii* de mes *Tableaux synonymiques* (*Études sur les Échinides*, 1837, p. 346 (1)). L'Échinide dont je parle maintenant est devenu le *Pygurus Faujasii* Agass. du *Catalogue raisonné* dont M. Desor a fait imprimer déjà la majeure partie dans les *Annal. des scienc. natur.* de 1846 et 1847. Ce n'est pas ici le lieu de discuter la question de savoir si la précipitation inévitable (2) avec laquelle ce catalogue a été imprimé n'aurait pas introduit, pour mon espèce, un double emploi comme il s'en trouve d'autres dans le même ouvrage, — si M. Desor a pu comparer *en nature* l'espèce périgourdine avec celle de Maëstricht (pour laquelle je ne connais, moi, que la figure de Faujas), — s'il est bien certain par conséquent que son *Pygurus apicalis* soit réellement distinct du *P. Faujasii*, — si M. Desor a atteint le vrai en rapportant, *sans hésitation*, à l'*apicalis*, les figures 3 et 7 de la planche XXX de Faujas, — si je n'ai pas été plus en chance de rencontrer la vérité en ne citant qu'*avec doute* la fig. 3 pour mon *Faujasii*, etc. Encore une fois, ce n'est pas de cela qu'il s'agit ici (3). J'éprouve le besoin d'avouer, avec

---

(1) J'ai eu l'honneur de faire hommage à la Société des trois Mémoires dont la réunion compose ce volume.

(2) A cause de son départ prochain pour l'Amérique.

(3) Il y aurait beaucoup à dire sur l'improbabilité d'une ressemblance si parfaite dans la face inférieure (fig. 7), et d'une dissemblance si notable dans la face supérieure ; — sur la distinction spécifique que Faujas lui-même attribue aux modèles de ces deux figures, et dans

une entière franchise, que *la première idée de l'assimilation de nos silex avec la craie de Maëstricht* m'est venue, à moi conchyliologiste, de la parfaite identité de la fig. 7 avec la face inférieure de l'Échinide qu'ils renferment : j'ai cru, et je crois encore avoir entre les mains un fossile *identique* avec celui de Maëstricht. Si donc M. Desor a eu raison de ne citer qu'*à Lanquais* le *Pygurus Faujasii*, s'il a eu raison de ne citer qu'*à Maëstricht* le *P. apicalis*, s'il a eu raison de les considérer comme deux espèces distinctes et de rapporter la fig. 7 à la seconde espèce qui ne se trouverait pas en Périgord, si enfin j'ai eu tort de rapporter cette fig. 7 à l'espèce périgourdine qui ne se trouverait pas à Maëstricht, — j'avoue encore une fois que mon hypothèse perd par là même, non pas peut-être sa base *principale*, mais certainement sa base *première* dans l'ordre chronologique.

Vous le voyez, monsieur le Président, je ne dissimule rien, parce que je désire que la question soit jugée à fond, et cela sans m'inquiéter du verdict qui peut me condamner. Je reprends.

Le n° 1 (*Pygurus Faujasii*) et le n° 2 (*Hemiaster buccardium*) de la faune de nos silex, souvent séparés, sont au moins aussi souvent habitants du même bloc : ensemble ou séparément, ils forment parfois de véritables *nougats;* et un savant illustre, que la Société s'honore de compter au nombre de ses membres, M. de Blainville, peut se rappeler qu'il a vu dans mon cabinet, en septembre dernier, l'échantillon le plus magnifique en ce genre, sans doute, qui existe dans aucune collection. Cet échantillon, dont j'ai donné la contrepartie la moins riche (le *couvercle*) au Musée de Bordeaux, contenait 26 *Pygurus Faujasii*, 5 *Hemiaster buccardium*, 4 *Acicula*..... et 1 *Asterias*....., tous d'une fraîcheur merveilleuse. Mon ami et collègue, M. Joseph Delbos, en pourrait, je crois, montrer un croquis à la Société. — D'autres fois (et c'est principalement le *Pygurus* qui se présente ainsi) les individus brisés, écrasés, brassés ensemble comme les éléments d'une pâte grossière, se trouvent au nombre de plusieurs centaines dans un bloc de 20 à 40 centimètres de diamètre, qu'ils constituent, pour ainsi dire, à eux seuls. — On voit que je dois la bien connaître, cette espèce si éminemment caractéristique, si *parfaitement identique* avec la fig. 7 de Maëstricht : hé bien, neuf années

---

l'hypothèse contraire, sur la possibilité d'une déformation qu'aurait subie l'échantillon de la figure 3; — sur l'élévation de la région apiciale, qui peut être due à la présence du test, tandis qu'on ne trouve jamais, en Périgord, que le moule.

d'études spéciales sur les Échinides, les relations étendues que j'ai entretenues pour ces études, la suite très nombreuse de figures que je possède, la collection certainement la plus riche en France, hors de Paris, rien enfin de tout cela ne m'a fait connaître l'existence de cette espèce ailleurs qu'en Périgord et à Maëstricht. Et quand je dis en Périgord, j'entends dire *dans les silex* dont il est ici question, car depuis quinze ans que je récolte et que je reçois des fossiles des diverses parties de la province, JAMAIS je ne l'ai vue dans la craie.

Avançons dans notre étude, et puisque nous en sommes à la paléontologie de ces silex, passons-la rapidement en revue. Après ces deux Échinides, qui en sont les fossiles dominants et par conséquent les plus caractéristiques, j'ai cité :

3° Une *Avicule :* elle est assez commune, et je l'ai vainement cherchée dans les publications de fossiles de la craie, faites par MM. Goldfuss, d'Orbigny, d'Archiac, Dujardin, Leymerie et Matheron; elle a beaucoup de ressemblance de forme avec l'*A. subradiata* Desh., du grès vert (*Mém. Soc. géol.*, 1re série, t. V, pl. VI, fig. 5) du Mémoire de M. Leymerie, mais elle n'est pas radiée.

4° Une seconde espèce du même genre, très ornée, rappelle l'*A. anomala* Sow., de la craie chloritée; mais l'imperfection de l'échantillon unique (empreinte incomplète) ne me permet pas d'avoir une opinion arrêtée, faute d'exemplaire authentique de l'espèce de Sowerby.

5° J'ai cité aussi une *Astérie :* elle n'est pas décrite dans l'ouvrage de Goldfuss.

6° Le fossile le plus volumineux et l'un des plus importants de ces silex (où il n'est pas très commun) est une superbe *Pholadomie* sillonnée comme le *Lutraria Pareti* de M. Matheron. Elle n'est décrite ni dans la *Monographie des Myes* de M. Agassiz, ni dans les ouvrages que je viens de citer. Je n'ai pu saisir aucune preuve de l'existence de dents à la charnière; je ne pense donc pas que ce soit une Panopée pour M. d'Orbigny. Elle se rencontre aussi, mais *très rarement*, dans nos craies.

7° Une *Modiole* assez commune, mais dont il est presque impossible de se procurer une empreinte entière. Je crois pouvoir la rapporter au *Mytilus semi-ornatus* d'Orb. *Paléont. franç. crétac.*, n° 759, t. III, p. 279, pl. 341, fig. 9, 10. Les stries, plus nombreuses que ne l'indique le texte, ressemblent davantage à celles que montre la figure. Je ne l'ai jamais aperçue dans nos craies.

8° Une autre *Modiole* (unique), dont la forme rappellerait, en

petit, le *Lithodomus intermedius* d'Orb., si ce n'étaient les grosses côtes longitudinales qui se montrent sur le moule.

9° Un *Pinna* qui pourrait peut-être se rapporter à un sommet de *P. restituta* Hœningh. in Goldf. (craie de Westphalie); mais les deux seuls fragments d'empreintes que j'ai trouvés sont si petits et si incomplets, que je crois impossible d'arriver à une détermination certaine.

10° (??) *Inoceramus regularis!* d'Orb., *Paléont. franç. crétac.*, n° 923, t. III, p. 516, pl. 410 (terrain sénonien). Le doute ne porte que *sur le gisement;* l'échantillon est beau, mais je ne l'ai pas recueilli moi-même, et la nature du silex est telle, que je crois qu'il appartient plutôt aux silex *ordinaires* de notre craie, où d'ailleurs cette espèce se rencontre assez fréquemment.

11° Un autre *Inoceramus* plus petit et mal conservé. S'il était reconnu qu'il appartînt à l'*I. Goldfussii* d'Orb., qui se trouve assez fréquemment ici à l'état crayeux, ce serait encore bien favorable à l'opinion de M. d'Archiac, et bien défavorable à la mienne. Il est facile de le confondre avec la Pholadomie ci-dessus, n° 6, vu le mauvais état des échantillons du n° 11.

12° Moules de petites coquilles turriculées, indéterminables (*Cerithium?*).

13° Contre-empreinte (unique) de *Venus?*

14° Un seul petit fragment d'*Ammonites! Mantelli?*

15° Très rares fragments de *Sphérulites* indéterminables, qu'il faut bien se garder de confondre avec les échantillons *silicifiés* de nos Rudistes de la craie (qu'on trouve dans le *diluvium!*). Je parle seulement de ceux qui se trouvent dans les silex dont nous nous occupons, lesquels sont si bien distincts des autres. — On sait que M. Goldfuss a décrit un *Hippurites Lapeyrousii* de la craie de Maëstricht (*Petref.*, t. II, p. 303, n° 8, pl. 165, fig. 5 *a*, *c*, *d*, *e*, *f*). Je crois plutôt que c'est une petite Sphérulite (Radiolite, d'Orb.), et je crois pouvoir aussi affirmer que la fig. *d* représente encore une valve inférieure (jeune) et non une valve supérieure. J'ai, dans les silex en question, une valve supérieure qui paraît ressembler à ce que devrait être celle de la coquille fig. *c*.....; mais je ne veux pas m'arrêter à ces hypothèses, qui sont par delà les nuages. Il me suffit de rappeler qu'il y a un Rudiste à Maëstricht (1), et de dire qu'il y a des fragments incontestables, mais fort rares, de Rudistes dans nos silex.

16° *Nucleolites lacunosa*, Goldf. (ou très voisine). RR.

---

(1) M. Hœninghaus m'en a envoyé un échantillon tel, que je n'y

17° *Nucleolites crucifera*, Morton (ou très voisine, ainsi déterminée par M. Desor). RRR.

18° *Nucleolites Collegnii!* Desor, espèce nouvelle. RRR.

19° Un moule incomplet de Spatangue indéterminé.

20° Un moule de *Natica lyrata?* Sow. (craie chloritée), qui se retrouverait peut-être à l'état crayeux, et un autre moule très petit (jeune?).

21° Un fragment de moule de *Volute* indéterminée, qui paraîtrait aussi se retrouver à l'état crayeux.

22° Enfin, quelques fragments d'empreintes dont le genre n'est peut-être pas même déterminable. — Pas une seule trace d'Huître, ni de Trigonie, ni de Térébratule. — Pas un seul Polypier bien caractérisé, si ce n'est, autant qu'il m'en souvient, une *Lunulite* que je ne pus pas recueillir.

Voilà tout, si ma mémoire ne me trompe pas, car je n'ai pas, en ce moment, la possibilité de repasser un à un tous les tiroirs de ma collection. Relevons *statistiquement* ces vingt-deux espèces de genres déterminés.

Espèce connue uniquement dans les silex en question et à Maëstricht (*Pigurus Faujasii*, n° 1), ci.	1
Espèces connues uniquement dans les silex en question (*Hemiaster buccardium*, n° 2, auquel j'avais jadis, à tort, assimilé une espèce de la craie de Provence; *Avicule*, n° 3; *Astérie*, n° 5; *Modiole*, n° 8; *Nucleolites Collegnii*, n° 18); ci.	5
Espèces des silex en question, qui ressemblent et sont peut-être assimilables à des espèces qui se trouvent dans les craies supérieures au néocomien (*Avicule*, n° 4; *Pholadomye*, n° 6; *Mytilus semi-ornatus?* n° 7; *Pinna restituta?* n° 9; *Inoceramus Goldfussii?* n° 11; *Ammonites Mantelli?* n° 14; *Nucleolites lacunosa?* et *crucifera?* n°s 16 et 17; *Natica lyrata?* n° 20; *Volute*, n° 21); ci.	10
Espèce douteuse pour le gisement (*Inoceramus regularis*, n° 10); ci..	1
Espèces indéterminées, trouvées seulement dans les silex en question, et qu'on ne peut porter ni sur l'un ni sur l'autre plateau de la balance, tant qu'on n'est pas fixé sur leur autonomie ou leur synonymie (*Cerithium?* n° 12; *Venus?* n° 13; *Sphærulites*, n° 15; *Spatangus*, n° 19; *Lunulites*, n° 22); ci.	5
	22

vois absolument rien de reconnaissable, même génériquement, et m'a dit que ce fossile est d'une excessive rareté.

J'ai donc, en faveur de mon hypothèse, 6 espèces absolument spéciales jusqu'ici à nos silex, et *trois* d'entre elles sont *dominantes*.

10 autres espèces peuvent, en tout ou en partie, quand elles seront sûrement déterminées, prouver pour ou contre moi ; *une seule* d'entre elles peut passer pour dominante.

Même remarque pour la seule espèce dont le *gisement* est douteux.

Même remarque encore pour les 5 dernières espèces non déterminées, si elles venaient à l'être.

Comment y parvenir? Et pourquoi, me dira-t-on, ne pas décrire vous-même celles que vous croyez décidément nouvelles (au nombre de sept au moins)?

Je vais proposer un moyen d'atteindre le but, et c'est avec bonheur que je trouve l'occasion de dire pourquoi je ne cherche pas à le faire moi-même : c'est que j'ai promis à M. Alcide d'Orbigny de tenir à sa disposition et de lui adresser, au fur et à mesure de ses désirs, tout ce que ma collection renferme de matériaux susceptibles d'enrichir sa *Paléontologie française ;* c'est que j'ai renoncé à rien publier moi-même à ce sujet, jusqu'à ce que son magnifique ouvrage soit entièrement terminé : heureux d'expier ainsi, volontairement, le tort d'un moment de dépit qui n'était pas pardonnable, même à un vieux *collectionneur*.

Et maintenant, d'ailleurs, je ne consentirais pas, pour tout au monde, à prendre la responsabilité de ces descriptions. La Société géologique étant saisie d'une question qui paraît exciter son intérêt, à cause d'un nom tel que celui de M. de Collegno qui s'y trouve mêlé, je désire que les déterminations soient faites plus sûrement que je ne les puis faire, en présence de matériaux de comparaison que je n'ai pas, avec l'autorité et le désintéressement dans la question que je ne puis avoir. Je veux enfin que la Société sache indubitablement, et moi aussi, si j'ai tout simplement commis une erreur, ou si par hasard il y aurait quelque chose de vrai dans mon hypothèse, c'est-à-dire une *distinction réelle d'étage* entre nos craies actuelles et celle où gisaient les silex qui nous occupent.

Voici donc ce que j'ai l'honneur de proposer à la Société :

Que le célèbre auteur de la *Paléontologie française* veuille bien consacrer quelques jours à l'étude de ces 22 fossiles qui, de toute façon, rentrent inévitablement dans le cadre de son ouvrage, auquel il faudra bien un *addenda* quelconque (et c'est pour cette

raison seulement que je n'offre pas le travail à M. d'Archiac qui, lui aussi, le ferait si parfaitement). Qu'il prenne ses heures; qu'il ait la bonté de m'avertir un peu d'avance : pour ne rien omettre, je repasserai *tous* mes tiroirs, et je lui adresserai une bien petite caisse, mais qui contiendra tous les matériaux *paléontologiques* de la discussion, et des variétés de couleur et de texture de nos fameux silex.

C'est déjà quelque chose, monsieur le Président, que d'avoir ainsi assuré la solution future de la partie paléontologique de la question; mais ce n'est certes pas tout, car il reste encore sa partie géologique, qui est bien la plus grave, puisqu'après tout il ne s'agit ici, de l'aveu de tous, que d'un procès *de craie à craie*. Permettez donc que je passe à ce second point de vue.

Je crains, malheureusement, d'être seul ou presque seul à porter le poids de la justification qu'il me faut essayer. Mon savant ami, M. de Collegno, n'est plus en France, et la géologie italienne absorbe toutes ses études. Il n'a d'ailleurs passé que bien peu de jours dans le Périgord, et peut-être n'a-t-il pas recueilli assez de notes pour traiter de si loin la question. M. J. Delbos, qui y a passé un peu plus de temps, et qui a vu avec moi une partie de ce que j'ai vu moi-même, qui a reçu de moi des coupes de nos terrains et des notes que je n'ai plus sous les yeux (mon volume de notes, confié momentanément à un ami, est à soixante lieues d'ici), M. Delbos, dis-je, pourra peut-être donner à la Société quelques explications afférentes à la question; et elles mériteront confiance, car il n'est pas possible d'observer avec plus de conscience et de soins que lui.

Et d'abord, puisque ce terrain, que j'ai osé appeler *danien*, n'est pas connu *en place*, puisque ses éléments désagrégés sont en partie déposés dans un terrain reconnu de tous pour *tertiaire*, il n'y a pas de coupes régulières à en donner. Nous sommes ici comme au milieu d'une forêt, et il s'agit de déterminer à quel tronc furent arrachées quelques feuilles que nous voyons à nos pieds. La géologie *de superposition*, si j'ose ainsi dire, n'a pas grand'-chose à faire en ce cas : la parole demeure à la géologie *d'induction*.

Posons les faits :

1° Quinze ans d'observations et de comparaisons m'ont fait voir et manier assez de silex périgourdins, pour que je me croie fondé à dire avec assurance que JAMAIS les silex en question n'ont été trouvés DANS NOS CRAIES; et, sauf de bien rares exceptions, je les distinguerai toujours aussi facilement à leur grain, à leur couleur,

à leur opacité, à leur cassure, à tous leurs caractères enfin, des silex ordinairement pyromaques de nos craies, que des silex meulières que nos terrains d'eau douce fournissent si abondamment.

2° Jamais les silex de nos craies n'offrent, comme ceux-ci, la cassure conchoïdale *en cuvette* dont j'offre aujourd'hui à la Société, sous les n^os I et II, deux des plus beaux échantillons qui se puissent voir. Ils sont de texture bien différente : le n° II est un des *grès* désignés par M. d'Archiac. Ils sont à deux et à trois rangs de *cuvettes* superposées, dont des fentes vous font voir la séparation non consommée, et le moule de la cuvette supérieure du n° I est mobile (bonne fortune très rare à rencontrer). Ce caractère indique une propriété physique fort différente dans les deux classes de silex que je compare ici.

3° A travers les nombreuses variations de ces silex, rubanés ou on non, blancs ou colorés, fins ou grossiers, fissiles ou massifs, tendres ou durs, parfaitement opaques ou translucides sur leurs bords très minces, on les reconnaîtra toujours, soit à cette cassure particulière, soit à la présence du *Pygurus* ou de l'*Hemiaster*, soit, et plus souvent encore, à leur dissemblance absolue avec les silex de nos craies.

4° Ils offrent trois formes : 1° la forme *fragmentaire récente*, à angles vifs et sans altération de nature à la cassure; 2° la forme *fragmentaire ancienne* (de l'époque *géologique*) à angles moins vifs et avec altérations de nature à la cassure (sorte de *croûte* de couleur différente, sur laquelle un géologue observateur ne peut se tromper); 3° la forme *primitive*, en rognons plus ou moins aplatis, imitant tantôt une miche de pain, tantôt une portion de strate. Dans ce troisième cas, la *croûte* existe toujours, excepté aux cassures récentes. Dans ce cas encore, il arrive souvent (ce qui ne se voit jamais sur les silex de nos craies) que les surfaces planes de la croûte sont criblées de très petites cuvettes, comme si une pluie forte et dure avait *grêlé* la pâte encore molle des silex.

5° Jamais on ne trouve ces silex *roulés*, si ce n'est dans un cours d'eau ou dans une alluvion moderne.

6° Il est assez difficile de les observer dans leur gisement *normal*, et celui-ci m'est resté bien longtemps inconnu. Ce gisement, c'est la *molasse tertiaire d'eau douce*, argilo-sableuse, dont nous faisons nos tuiles, dans laquelle reposent nos mines de fer si abondantes et si connues par leurs produits; molasse que M. Dufrénoy a placée dans le terrain *moyen* (sous le nom d'*argiles maculées*), et que des observations récentes, suivies pas à pas depuis l'embou-

chure de la Gironde jusqu'à plus de 25 kilomètres au-dessus de Bergerac, ont conduit M. J. Delbos à faire redescendre dans le terrain *éocène*. Ce n'est point à moi de fournir des preuves pour ou contre ce changement de classification. C'est l'affaire de M. Delbos, à qui j'ai communiqué mes observations, mes notes, mes coupes, et qui en fera usage dans un travail spécial et tout à fait étranger à l'objet que je traite, puisque M. d'Archiac admet, pour nos silex, la même gangue où je les trouve.

7° Je dis seulement qu'il est assez difficile de les voir reposer dans cette gangue, parce qu'ils sont beaucoup plus fréquents hors de son sein. 1° Rien de plus facile à délayer que la molasse; elle les abandonne à nu sur la craie. — 2° Rien de plus intéressé, de temps immémorial, à les déplacer que le paysan périgourdin, qui passe sa vie à fouir dans la molasse pour en tirer la mine de fer: il retire les rognons des puits et les laisse dormir sur n'importe quoi, sur le *diluvium* par exemple. — 3° Rien de plus intéressé que ce même paysan à les faire voyager quand ils ne font plus qu'encombrer la surface de son terrain : comme tous les silex, ils prennent mal le mortier, mais ils font d'assez bons murs en pierres sèches, et, tant bien que mal, on en fait du moellon pour s'épargner la peine d'en aller chercher plus loin. On en fait aussi des *bornes* indestructibles et individuellement reconnaissables à leur forme : enfin on les emploie, on les brise, on les torture de mille et mille façons, qui tendent toutes à les éloigner de leur gisement et à rendre celui-ci fort obscur pour le géologue voyageur.

8° Comme la molasse a toujours été délayée dans nos vallées, il n'y a plus aucune chance de retrouver ces silex *en place*, ailleurs que sur les plateaux et le penchant des collines, dans la molasse vierge ou dans la molasse remaniée qui leur sert de manteau.

9° Je n'ai point étudié le nord du département de la Dordogne; j'ignore si ces silex s'y trouvent; et dans quelques courses faites aux environs de Périgueux, je ne me rappelle pas en avoir vu un seul bloc. Je parle donc seulement de ce qui se passe dans le Midi du département.

Voilà mes prémisses établies : les conclusions, telles que peut les offrir un pauvre *géologue d'occasion* (qu'on me permette de répéter ce mot), ne seront pas longues à exposer. Les hautes considérations d'ensemble et de comparaisons qui ont dicté l'opinion de M. d'Archiac dépassent la somme et le rayon de mes observations. Il en est de même de celles, non moins élevées, que M. Delanoue a tirées de l'étude comparative et de la séparation

originaire des deux mers crétacées du S.-O. et du N. de la France : l'excessive dissemblance de leurs faunes est un fait incontesté. Je ne cherche donc nullement à combattre les graves objections de ces deux savants, et j'admets qu'elles pèsent de toute leur gravité contre moi.

Mais voici la filiation de mes idées :

Les silex dont il s'agit ne se trouvent jamais *dans les craies* du Périgord.

Leurs fossiles *dominants* ne se trouvent jamais dans ces craies ; quelques uns, moins abondants, s'y retrouvent ou paraissent s'y retrouver, mais cette circonstance *n'exclurait pas une distinction d'étage ;* et, parmi les fossiles caractéristiques cités par M. Delanoue, pas un seul n'a été vu dans nos silex.

Ils ne sont jamais *roulés ;* donc, ils ne viennent pas de très loin.

Leur gisement normal est un terrain tertiaire inférieur, formé du remaniement de matériaux qui proviennent de terrains plus anciens.

Le terrain solide le plus superficiel dans la contrée (en dessous de celui-là) est la craie à Sphérulites (*crateriformis*, *Hæninghausi*, etc.), l'étage *supérieur*, en un mot, de la craie du S.-O. pour M. d'Archiac comme pour M. Delanoue.

Donc, les silex en question sont délaissés par une craie fondue, *différente* de cet étage supérieur, et qui elle-même lui était encore supérieure.

La *craie blanche* n'existe pas dans le S.-O., et pas un seul des fossiles de nos silex ne nous porte à lui assimiler notre étage dissous.

Au-dessus de la *craie blanche* on connaît encore la *craie de Maëstricht*, la plus élevée de toutes, assimilée récemment par M. Deshayes au nouveau terrain *danien* de M. Desor. Or, le fossile *dominant par excellence* dans nos silex est identique à un fossile qui n'est connu que dans la craie de Maëstricht. De là l'idée, pour moi, d'assimiler à cette dernière notre étage dissous.

Mais cette idée est téméraire parce qu'elle est appuyée sur un seul fait ! — Soit, mais voilà comment elle est née ; et il fallait une hypothèse quelconque, un étage quelconque de craie supérieure, pour loger des fossiles et des silex *de la craie*, qui ne trouvaient pas place dans les craies de ce pays.

Mais encore, cette idée téméraire est, de plus, inacceptable parce que des considérations d'un ordre infiniment supérieur aux vôtres s'opposent à son admission ! — Soit encore une fois, je le

veux, puisque des savants aussi consciencieux que distingués persistent à repousser l'hypothèse.

Qu'elle soit donc à néant, cette hypothèse, si ces savants jugent, après la détermination authentique des fossiles, après l'examen des caractères de nos silex, que nous n'avons pas pu posséder un *lambeau* de craie *géologiquement* identique avec la craie de Maëstricht.

J'accepte ce jugement; mais une fois *le nom* effacé, il restera *la chose*, dont je demande qu'on détermine la valeur quelconque. Je ne sais si je me trompe, mais il me semble que, des faits que j'ai exposés, ressort la nécessité de choisir entre ces deux partis :

Reconnaître dans notre lambeau de craie dissoute, sinon l'identique, du moins l'*analogue*, l'*équivalent*, le *remplaçant* de l'un des deux étages connus ailleurs au-dessus du niveau de nos craies;

Ou bien admettre, pour notre contrée, l'ancienne existence d'un étage supérieur à ce que nous avons conservé, et établir les caractères qui s'opposent à une comparaison quelconque avec les étages supérieurs des autres contrées.

Au résumé :

Tout ce que je sais ou crois savoir, je viens de l'exposer aux yeux de la Société;

Tout ce que je possède en fait de matériaux susceptibles d'éclairer la question, je le tiens à la disposition d'un juge dont nul de nous ne décline la compétence;

Tout ce que j'ai vu et vois encore chaque jour, je serais heureux de le montrer moi-même à celui où à ceux de nos collègues que leurs courses géologiques conduiraient dans notre province, et qui voudraient bien accepter une toute simple, mais toute cordiale hospitalité périgourdine.

M. Rabusson présente une carte du golfe arabique des petits géographes grecs, et une carte générale de la mer Égée, dressée pour expliquer le voyage d'Hannon.

M. Éd. Collomb adresse la note suivante :

Nouvelles observations sur l'ancien glacier de Wesserling; par M. Éd. Collomb.

Depuis la publication de mon travail sur les anciens glaciers des

Vosges (1), j'ai eu l'occasion d'approfondir quelques questions se rattachant au même sujet, et que le temps qu'elles exigent pour être examinées à fond ne m'avait pas permis de traiter alors. Je puis aujourd'hui donner à la Société quelques détails précis :

1° Sur la pente exacte de la surface de l'ancien glacier de Wesserling ;

2° Sur la masse ou le nombre de mètres cubes de glace qui existaient au moment où ce glacier avait atteint le niveau qui m'a servi pour calculer son inclinaison.

La pente. — Comme tous nos anciens glaciers ont subi pendant leur période d'activité des fluctuations profondes, j'ai choisi pour établir la pente de la surface de celui dont il est question une époque d'assez grande extension. Les mesures ont été prises sur une ligne de 8000 mètres de longueur. Pour éviter toute confusion, j'ai mesuré cinq stations différentes sur la rive gauche, stations faciles à reconnaître sur le terrain par la présence d'amas de blocs erratiques déposés horizontalement sur les flancs de la montagne encaissante. Ces blocs appartiennent évidemment à la même époque ; ils sont tous d'une même espèce de granite blanc sans mélange d'autres roches, et l'on sait que les glaciers, en transportant des matériaux sur leur dos, ont la propriété de ne jamais les confondre sous le rapport de leur qualité pétrographique. Ces blocs correspondent donc bien à la même époque de transport, et ils peuvent servir de station ou de point de repère avec toute chance d'exactitude. Ce premier fait était important à constater, pour qu'il n'y eût pas confusion entre les différents étages horizontaux correspondant à différentes hauteurs des glaces.

Je n'ai pris de mesures exactes que sur la rive gauche de la vallée, parce que de ce côté-là le terrain est très favorable à ce genre d'observations; il est dépouillé de forêts et la position des champs de blocs facile à reconnaître; ils reposent en général sur des schistes stratifiés.

Sur la rive opposée, les affluents latéraux ont un peu dérangé cet ordre de choses, puis, les fortes pentes et les forêts qui couvrent le sol sont autant de causes qui auraient entaché l'observation d'inexactitude ; ensuite les blocs erratiques de granite gisent eux-mêmes sur du granite, autre cause d'erreur. Quoi qu'il en soit, autant que j'ai pu en juger, les stations de la rive droite, perpendiculaires à celles de la rive gauche relativement à l'axe du

(1) Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges, 1 vol. in-8°. Paris, 1847.

glacier, n'étaient pas placées sur un plan rigoureusement horizontal. Le niveau des anciennes glaces était, dans cette vallée, plus élevé sur la rive droite que sur la rive gauche. Plusieurs causes ont sans doute contribué à ce résultat. La première est l'influence que les affluents latéraux ont dû avoir sur la masse principale. Les affluents de Saint-Nicolas, de Schliffels et d'Urbès déversaient une masse énorme de glace qui devait nécessairement retarder la marche du grand glacier sur cette rive. Ensuite ces petits glaciers étaient chargés de débris; leurs moraines superficielles étaient garnies de matériaux; ces petits vallons en sont encore encombrés aujourd'hui. Cette couche de débris empêchait l'ablation et la fonte de s'opérer avec autant d'activité que sur les points découverts de la rive gauche. L'orientation des plans, exposés, soit au Midi, soit au Nord, devait aussi contribuer pour sa part à augmenter ou à diminuer le niveau relatif de la surface.

En prenant en considération toutes ces causes réunies, on ne sera pas surpris si l'une des rives se trouve, sur certains points, d'une cinquantaine de mètres plus élevée que le même point correspondant de la rive opposée, en admettant toujours comme thèse fondamentale que les anciens glaciers étaient doués des mêmes propriétés que ceux qui sont en activité aujourd'hui.

La première station au-dessus du Hasenbühl (1), en amont de Wesserling, est un champ de blocs situé à une trentaine de mètres au-dessus du Hasenbühl, ou à 100 mètres au-dessus de la rivière. Les blocs reposent ainsi qu'à la seconde station, au-dessus du Marlen, sur des schistes argileux régulièrement stratifiés. Ceux de un mètre cube sont assez nombreux; il y en a quelques uns de 12 à 15 mètres cubes, et l'un d'entre eux se distingue des autres par sa taille; il a 30 mètres cubes.

A la station III, au-dessus de Krüth, l'amas de blocs est à 300 mètres au-dessus du sol de la vallée; leur qualité, leur volume et leur position sont dans les mêmes conditions qu'aux stations I et II.

La station IV est à 400 mètres au-dessus du sol de la vallée, un peu en amont de Wildenstein; les blocs y sont plus espacés les uns des autres, ainsi qu'à la station V, à un kilomètre environ en amont de la précédente, et leur position est plus difficile à bien constater. Plus loin, c'est-à-dire plus en amont, on rencontre encore des champs de blocs, mais je n'ai pas cru devoir y établir de station, parce qu'il se présente ici une difficulté d'observation.

---

(1) Voyez la coupe (*Bull. Soc. géol.*, 2e série, t. III, p. 196.

Les blocs arrondis ne sont plus aussi nombreux ; dans le nombre on en trouve une grande quantité qui sont anguleux, et comme le sol sous-jacent passe au granite, il pourrait y avoir confusion entre les roches d'éboulement contemporain et les roches transportées par les glaces, d'autant plus que les pentes deviennent très rapides.

C'est, au surplus, une remarque générale à faire dans nos vallées : partout le nombre des blocs arrondis et usés est en raison directe de leur distance à l'origine des vallées. Dans les moraines inférieures les blocs arrondis sont en grande majorité, tandis que dans les moraines ou les amas latéraux qui se rapprochent du point de départ des vallées, c'est l'inverse qui se présente; la plupart des matériaux meubles ont conservé leurs angles vifs.

Ces cinq stations sont du reste suffisantes pour établir la pente de l'ancien glacier avec autant d'exactitude que le sujet le comporte. Calculée d'après le tableau suivant, elle est en moyenne de 5,125 pour 100 sur une étendue de 8000 mètres (1). Dans ce chiffre ne se trouve pas comprise la pente du talus terminal qui n'a pas laissé de traces écrites sur le sol et qui reste inconnu. La pente du sol sous-jacent correspondant est, suivant la ligne médiane du fond de la vallée, de 1,362 pour 100.

A la coupe longitudinale je joins une carte détaillée qui représente les contours exacts de ce glacier, tels qu'ils existaient à l'époque dont nous nous occupons, et ensuite quatre sections transversales où l'on peut voir d'un coup d'œil la forme du relief du terrain.

Une section transversale du Gresson à la maison de Steintebach (2) suit une courbe qui part du Gresson, descend dans le vallon de Storckenson, coupe le glacier latéral qui s'y trouvait, passe sur le Hüsselberg dont le sommet était entièrement investi de glaces, comme le jardin à la mer de glace de Chamounix ; cette section passe ensuite près de la partie frontale du glacier, à environ 1000 mètres en amont, elle coupe les roches striées en place du Glattstein et du Hasenbühl; elle quitte le glacier à la station I de la coupe longitudinale.

---

(1) La pente de la surface du glacier de l'Aar est en moyenne, sur une ligne de 7,830 mètres comptée, à partir du pied de l'Abschwung, en aval de 6,90 pour 100, suivant M. Agassiz (voyez *Nouvelles études sur les glaciers*).

(2) Voyez la carte du terrain erratique de la vallée de Saint-Amarin (*Bull. Soc. géol.*, 2e série, t. III, p. 196).

La seconde section transversale part du sommet du Drumont, traverse le col qui sépare la vallée de Schliffels de celle de Saint-Nicolas, remonte le Steinberg, descend sur le glacier principal en coupant la moraine par obstacle du Bärenberg, puis remonte à la maison de Steintebach.

La troisième section présente déjà une épaisseur de glace considérable; elle part de la Tête du Chat sauvage, descend par une pente rapide jusqu'au pied du rocher de Wildenstein, qui forme aussi moraine par obstacle et quitte le grand glacier pour couper encore un petit embranchement du glacier latéral de Krüth.

La dernière section, près de l'origine du glacier, est celle qui présente la plus grande épaisseur de glace; la vallée est, sur cette ligne, assez resserrée; elle va ensuite en se rétrécissant de plus en plus jusqu'à son point de départ en amont.

A l'occasion de ce rétrécissement des bords des montagnes encaissantes, il n'est peut-être pas inutile de signaler ici une différence qui existe entre les anciens glaciers des Vosges et les glaciers actuels des Hautes-Alpes, sous le rapport orographique. En Suisse les glaciers sont, d'après les observations de M. Desor, et ainsi que je m'en suis assuré moi-même, liés à l'existence de cirques supérieurs, de vastes espaces couverts de champs de neige qui font l'office de réservoirs d'alimentation. Dans les Vosges les cirques manquent; en jetant les yeux sur une carte de cette contrée, on remarque que les vallées, considérées sous le point de vue de leur projection horizontale, partent en général de l'arête dorsale de la chaîne, avec tendance à s'élargir d'amont en aval. Sauf quelques rares exceptions, la forme circulaire n'existe pas dans les fonds de vallées; elles se terminent ordinairement en coin plus ou moins rempli par des terrains de comblement.

Cette disposition étriquée des vallées supérieures, ce défaut de cirques d'alimentation semble, au premier abord, présenter un fait contraire à la théorie que M. Desor a si ingénieusement déduite de ses observations dans les hautes régions. La difficulté n'est toutefois pas insoluble, et nous avons dans les Vosges un autre fait orographique qui a dû produire dans les anciens temps un résultat identique. Si les cirques manquent, ils sont remplacés par une infinité d'embranchements et de ramifications secondaires, qui, tous, viennent se jeter dans les vallées principales. Nos grandes vallées sont comme le tronc d'un arbre qui se divise en branches et en rameaux divergents. La théorie de M. Desor n'est, du reste, qu'une question de surfaces; nos grands glaciers n'étaient pas alimentés par de grandes masses de neige rassemblées sur un

point orographique, mais ils étaient alimentés par les mêmes masses embrassant les mêmes surfaces disséminées et partagées en plusieurs lots, qui, venant tous concourir au même but, devaient produire les mêmes résultats.

La masse. — Les différentes coupes longitudinales et transversales de l'ancien glacier de Wesserling, que j'ai relevées, m'ont permis de calculer, avec une approximation suffisante, la masse de glace évaluée en mètres cubes qui encombrait cette vallée à cette même époque de grande extension.

Pour le glacier principal, longueur 12500 mètres, largeur moyenne 1700 mètres, hauteur moyenne 333 mètres.

$$12{,}500 \times 1{,}700 \times 333 = 7{,}076{,}250{,}000^{mc.}$$

Pour les affluents latéraux, sur la rive droite

d'Urbès,	4,000	× 1,200	× 200	=	960,000,000
de Schliffels,	2,300	× 500	× 200	=	230,000,000
de St-Nicolas,	2,500	× 700	× 300	=	525,000,000
		sur la rive gauche			
de Krüth,	1,400	× 2,200	× 300	=	924,000,000
					9,715,250,000

Ce chiffre est établi au minimum ; il n'en est pas moins remarquable que la masse de glace qui encombrait cette seule vallée à l'époque en question était d'environ 10 milliards de mètres cubes.

Tableau de la pente de la surface de l'ancien glacier de Wesserling.

Du pied du Hasenbühl à la station V, sur la rive gauche, 8000 mètres.

Niveau au-dessus de la mer.	Distance des points.	Pente, en mèt. pour 100.	En degrés sexagésimaux.
Du point I 540^m	de I à II 1,300^m	7,69	4° 0′ 20″
II 640	de II à III 2,900	5,52	3 8 50
III 800	de III à IV 2,700	4,07	2 17 30
IV 910	de IV à V 1,100	3,63	2 0 20
V 950	total de I à V 8,000 moy.	5,125	2° 56 4

Pente du sol sous-jacent, pris au bord de la Thur.

Du pied du Hasenbühl jusqu'à la station V, sur 8000 mètres, moyenne 1,362.

Explication de la planche du Mémoire de M. Tallavignes, *antè*, page 1127.

La fig. 1 montre la disposition des couches dans le bassin compris entre les terrains de transition de la Montagne-Noire au N. de Trausse et ceux de même nature qui constituent les Hautes-Corbières au S. de Durfort. L'échelle est à 1/2 Cassini, et l'on a cherché à conserver la même proportion pour les distances horizontales et verticales. Cette coupe permet d'apprécier les relations géognostiques des systèmes alaricien et ibérien, ainsi que des divers types que j'ai cherché à distinguer dans ce dernier système. On y voit : 1° que les calcaires nummulitiques du système ibérien (1er type) reposent directement sur le terrain de transition de la Montagne-Noire. (Des fentes nombreuses permettent d'apprécier cette superposition avec la plus rigoureuse précision.) 2° Qu'il en est de même dans les Corbières pour les couches ibériennes du 2e type. 3° Que les couches ibériennes des trois types, horizontales comme dans la Montagne-Noire, ou relevées comme auprès de Capendu, sont constamment en stratification concordante avec le terrain miocène. 4° Que ces trois types ne forment qu'un seul horizon. 5° Enfin que cet horizon est en stratification discordante avec les couches du système alaricien. J'ai cherché à présenter dans la vallée de Roquenegade un exemple des deux modes de stratification que j'ai distingués entre les terrains ibérien et alaricien (voy. p. 1138). Ces deux modes existent en effet dans cette vallée, mais non pas de la façon présentée par la coupe. Le point où les couches de marnes noires du système ibérien (3e type) viennent buter contre la tranche des couches d'Alaric, est situé à l'O. et non au S. de Roquenegade.

La fig. 2 est une coupe prise aux environs de Limoux, Alet, Couiza et Quillan; elle montre la disposition des couches comprises entre le terrain miocène des environs de Limoux et les calcaires regardés comme néocomiens, qui forment les hauteurs qui dominent Quillan. L'échelle est celle de Cassini et les hauteurs sont fort exagérées. La bande nummulitique dont cette figure présente la section, relie les terrains nummulitiques des Basses-Corbières à ceux de l'Ariége. Cette coupe fait voir combien la distinction des systèmes alaricien et ibérien est constante. Les marnes rouges alariciennes des Patiassis et les grès micacés qui sont à leur base se prolongent sans solution de continuité jusqu'à Belesta, et forment le grès à lignites de l'Ariége. Ces mêmes marnes et ces mêmes grès reposent à Veraza directement sur le terrain de transition d'Alet et de Saint-Salvaire, tandis que sur le versant N., à Arse, ce sont les marnes noires à Turritelles, appartenant au système ibérien, qui occupent la même position par rapport aux terrains anciens.

c. calcaires, g. grès, p. poudingues, m. marnes, m. r. marnes rouges.

Recherches sur les Terrains Nummulitiques du Dépt. de l'Aude par M. TALLAVIGNES.

Fig. 1.

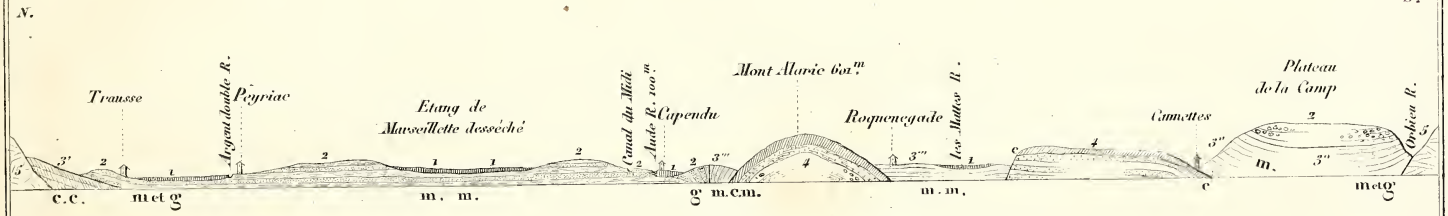
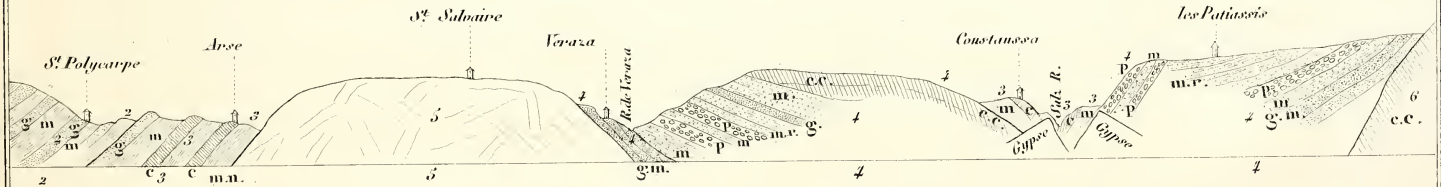


Fig. 2



1 Alluvion.
2 Terrain miocène.
3 Terrain nummulitique supérieur (système Ibérien) 3' 3'' 3''' 1er 2e et 3e type.
4 Terrain nummulitique inférieur (système Alaricien).
5. Terrain de transition.
6. Terrain néocomien.

Bull. de la Soc. Géol. de France
Lith. Kaeppelin Paris
Gravé par Sorel

Krusenstern et Alexandre comte Keyserling); in-4°, 465 p., avec un altas de 2 cartes et 22 pl. Saint-Pétersbourg, 1846, chez Carl Kray.

Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences; 1847, 1er sem., nos 25—26.

L'Institut; 1847, nos 703, 704.

Bulletin de la Société d'agriculture, sciences, arts et commerce du Puy; t. V, 2e livraison.

Annales de la Société d'émulation du département des Vosges; in-8°, t. VI, 1er cah. 1846.

The Athenæum; 1847, nos 1026—1027.

The Mining Journal; 1847, nos 618, 619.

The American Journal of science and arts; 2th ser., vol. II, november 1846, no 6; vol. III, january — march 1847, nos 7—8.

Le Secrétaire lit une lettre de M. Collomb qui annonce que M. Schimper attribue au pollen des conifères la couleur jaune de la neige tombée sur le revers méridional du Saint-Bernard. MM. Élie de Beaumont et Angelot avaient déjà émis cette opinion dans le sein de la Société.

La Société adopte la proposition du Trésorier sur les mesures financières nécessaires pour compléter l'impression du *Bulletin*.

M. Boubée présente un nouvel échantillon des calcaires de transition qu'il suppose percés par les Hélices, et qu'il a découverts dans les Pyrénées. Il en a déjà entretenu la Société dans l'une des séances de l'année dernière.

M. Frapolli communique le travail suivant :

Réponses à MM. Martins et Desor concernant la Théorie des glaces flottantes, *et analyse d'une notice manuscrite de M. Paul Weibye de Krageröe sur celle* des vagues, *avec le Compte-rendu des nouvelles observations de M. Forchhammer sur les surfaces polies et striées du Danemark*, par L. Frapolli.

Ayant lu dans le *Bulletin*, à la suite de ma note du 11 janvier de cette année sur la *Théorie des glaces flottantes*, plusieurs objections auxquelles, faute de les connaître, je n'avais

pu répondre de suite, je me vois obligé à regret de le faire tardivement.

M. Martins m'avait d'abord opposé « que la nouvelle théorie » suppose que la Scandinavie a été immergée jusqu'à la hau- » teur de 1400 mètres, car on a observé des roches polies et » striées jusqu'à cette hauteur, tandis qu'on ne trouve des » traces de la mer, consistant en un dépôt argileux coquillier, » que jusqu'à la hauteur de 240 mètres. » — A cela j'ai répondu, et ma réponse, quoique placée à quelque distance, se trouve consignée dans le compte-rendu de la discussion, que les dépôts à fossiles n'appartiennent qu'à l'époque actuelle, tandis qu'il s'est formé des stries pendant plus d'une des dernières périodes ; j'ajouterai que par suite des dénudations qui ont signalé généralement, et surtout dans la Scandinavie, la fin des périodes récentes, il n'y a rien de plus naturel que l'absence des débris de ces temps sur les hautes montagnes qui depuis lors n'ont pas été réimmergées. Mais puisqu'on nous a appelé sur ce terrain, il ne sera pas moins instructif de rapprocher l'objection ci-dessus de M. Martins des conclusions que M. Desor son co-opinant prenait dans le Mémoire du 16 novembre 1846. Il y est dit :

« Que les changements de niveau ne sont pas limités à l'é- » poque historique, mais qu'ils remontent au-delà du diluvium, » et que depuis lors le sol de la Scandinavie a éprouvé des sou- » lèvements et des abaissements successifs ; »

Ce qui résume absolument la même réponse que j'ai dû faire à M. Martins, et qui est tout à fait contradictoire avec son objection.

On a ajouté ensuite : 1° Que cette théorie « aura à démon- » trer que les stries formées par des glaces flottantes pous- » sées sur les rivages sont semblables en tous points à celles » qui sont gravées par les glaciers actuels, car il n'y a point de » différence entre celles-ci et les stries des rivages et des mon- » tagnes de la Scandinavie. » Sans entrer dans la discussion du fait, question que je ne veux aucunement aborder aujourd'hui, et dans laquelle je n'entrerai point pour le moment, je me permettrai de faire observer que la dernière assertion, reposant sur l'appréciation incomplète des faits, telle qu'elle a eu lieu

jusqu'à présent, ne saurait entraîner la conséquence qu'on lui attribue;

« 2° Que la nouvelle théorie présentera sans doute aussi une » explication simple et facile de ce fait sans exception du cap » Nord jusqu'à Christiania, savoir que dans tous les rochers du » rivage le côté arrondi, poli et strié est tourné vers l'inté- » rieur des terres, tandis que le côté escarpé, anguleux et non » strié regarde la mer, et que ce devrait être le contraire, si » la nouvelle explication était la véritable. » D'abord, il est complétement inexact de dire que *tous* les rochers du rivage sont escarpés du côté de la mer; il n'y a d'escarpés de ce côté que les rochers qui, par leur élévation au-dessus des eaux, ont subi l'action des tempêtes et les éboulements du dégel. M. Martins était plus que personne à même de connaître cette action, lui qui vient de résumer avec un style si élégant les observations que de Luc avait faites à l'île de Poel. Deuxièmement, la conclusion, que d'après la nouvelle explication ce doit être le contraire, est en opposition avec les lois générales du phénomène indiquées dans ma note; car d'un côté la réaction de la vague, lorsqu'elle marche d'accord avec le vent, conserve encore une très grande proportion de force vive, de l'autre les glaçons provenant, le plus souvent, de la côte et non du milieu de la mer, il en résulte que leur action doit être plus grande sur la partie des îlots qui est tournée vers l'intérieur;

« 3° Qu'aux rétrécissements des hautes vallées de la Suède » et de la Norvége, les stries sont redressées d'amont en aval, » comme elles le sont dans les mêmes circonstances sur les » bords des glaciers actuels. Que, d'après la nouvelle hypothèse, » ces stries devraient être inclinées précisément en sens con- » traire, puisque les glaçons auraient été poussés dans les val- » lées d'aval en amont. Que c'est là encore une difficulté dont » on attend la solution. » Il est bon de remarquer que c'est surtout aux débouchés des vallées, là où des circonstances particulières sont en jeu (des barres, etc., etc.), et là où elles s'élargissent tout aussi bien que dans les rétrécissements, que les stries remontent d'amont en aval. Ensuite, que c'est ne pas connaître l'action des glaçons que de dire qu'ils ne sont poussés dans les vallées que d'aval en amont.

4° M. Martins fait en dernier lieu l'observation « que cette » explication est la troisième que proposent les partisans de » l'action des eaux..... Qu'après avoir épuisé toutes les combi- » naisons..... on reconnaîtra, etc. » N'ayant jamais émis d'autre opinion que la présente, les remarques de M. Martins ne peuvent être à mon adresse; les personnes que cela atteint y répondront si elles le jugent convenable. Je me bornerai donc à demander qu'on veuille bien laisser à chacun sa part de responsabilité, et à déclarer *que je repousse tout autant la formation des stries des parties de la Scandinavie que je connais, par l'action des courants ou de la simple vague, que par l'enveloppe fantasque dont on a voulu douer le globe terrestre, par laquelle on a prétendu expliquer le phénomène erratique des, Alpes des Pyrénées, des Vosges et des montagnes de l'Écosse, et qui n'a pas même le mérite d'être très poétique* (1).

Je dois également faire observer que ma note du 11 janvier avait été écrite, ainsi que le prouve son commencement, à propos d'une notice que M. Desor venait de lire dans la même séance, et que son auteur n'a pas présentée pour l'impression; que c'est donc par erreur que dans la rédaction du procès verbal, à la p. 416 du *Bulletin* de cette année, on m'a fait répondre à un Mémoire lu par M. Desor à la séance du 16 novembre 1846, et que je ne pouvais point connaître, car je ne faisais que d'arriver au commencement de janvier, et la livraison de cette époque n'a été publiée qu'en février. Si j'avais dû répondre au Mémoire du 16 novembre, je l'aurais fait autrement. — Je me bornerai, pour le moment, à relever une inexactitude qui s'y est glissée, et qui tend à donner une idée complétement fausse des opinions de M. Forchhammer. Dans ce Mémoire, dont l'idée principale, celle du soulèvement et de l'abaissement successif pendant la soi-disant période glaciaire, appar-

(1) Le fait que les stries des *parties basses* de la Scandinavie ne pouvaient être expliquées par les théories répandues avait été déjà signalé par M. Durocher (*Bull. géol.*, séance du 2 novembre 1846), qui reconnaissait plusieurs centres d'action dans un pays où le niveau moyen est de 800 à 400 mètres et couvert de lacs, en même temps que l'impossibilité d'en tirer une théorie conforme aux idées reçues.

tient à M. Daubrée (1), M. Desor parle à plusieurs reprises d'une *Théorie des vagues*. Il dit : « qu'une partie des » géologues scandinaves rapportent le phénomène erratique » tout entier à l'action des flots de la mer..... Que les sillons » à surface striée seront toujours une difficulté insurmon- » table pour la théorie des courants comme pour celle des » vagues, aussi longtemps que l'on n'aura pas prouvé que » ces agents ont la faculté de tracer de fines raies dans l'in- » térieur des sillons. » Après cela M. Desor ajoute au bas de la page une note, dans laquelle on affirme que cette théorie des vagues est celle que M. Forchhammer a développée dans son article des *Annales de Poggendorff*, vol. LVIII. Je regrette beaucoup que M. Desor n'ait pas mieux vu tout ce que le célèbre professeur de Copenhague a écrit dans le Mémoire précité. M. Forchhammer, après avoir admis que c'est la vague qui arrondit les rochers, ajoute que l'eau ne peut point par elle-même exercer une action de striage, qu'il faut pour cela des blocs durs, et que, quoique de gros débris non arrondis, même en se traînant par le seul effet de la vague, puissent former des stries, la petitesse et le parallélisme de ces dernières, tout aussi bien que leur présence sur le fond des larges sillons, ne peuvent être expliqués qu'en admettant qu'elles se produisent en temps d'hiver, lorsque la coagulation de la vague enveloppe les graviers et les sables dont le rivage est parsemé, etc., etc. On trouve tout cela épars dans les pages 638 à 641 du volume indiqué des *Annales de Poggendorff*, 4e division, 1843. La théorie développée par M. Forchhammer n'est point celle de la *vague*, mais celles des *glaces flottantes*, et elle est complétement d'accord, dans sa substance, avec ce que j'ai eu l'honneur d'exposer dans la séance du 11 janvier. Je me vois donc forcé malgré moi de protester, au nom de M. Forchhammer, contre les opinions que M. Desor lui a prêtées. Je ne sache pas qu'on ait publié des études bien détaillées sur la théorie des vagues proprement dite, qui a été une des idées de M. Eugène Robert,

(1) Extrait d'un Mémoire de M. Daubrée (*Comptes-rendus de l'Académie des sciences pour* 1843, t. XVI, p. 328).

et à laquelle adhèrent quelques personnes de la Scandinavie. Notre confrère M. Paul Weibye, de Krageröe, qui défend cette opinion, m'ayant envoyé son manuscrit, je prendrai la liberté de le faire connaître à la Société. On y verra que M. Weibye n'attribue à la vague, aidée par les sables et les galets de la grève, que les stries et les sillons des rochers, et aucunement tout le phénomène erratique. L'action des glaçons y est également admise, mais exceptionnellement. L'exposé du minéralogiste norvégien acquerra d'autant plus d'intérêt qu'il est accompagné d'une carte topographique d'une partie de la côte, où l'on voit les principales directions des stries, et dont, après avoir visité le pays, j'ai dû reconnaître la précision. Je regrette seulement beaucoup d'avoir à déclarer que, quoique reconnaissant l'exactitude de toutes les belles observations de M. Weibye qu'il m'a été donné de constater, je ne peux m'associer aux conclusions qu'il en tire.

Analyse d'une notice manuscrite de M. Paul Weibye, *de Krageröe, sur la théorie des vagues.*

« Placé depuis bien longtemps, dit M. P. Weibye, au milieu de rochers polis et striés, je cède au désir d'exposer au public géologique le résultat de mes observations sur un phénomène si intéressant et si peu connu. J'ajouterai quelques réflexions sur les causes qui l'ont produit. Mes conclusions précéderont même l'exposé des faits, qui en deviendront ainsi plus intelligibles, et en seront la preuve (1).

» Dans toutes les théories imaginées pour expliquer le phénomène de friction, on a par trop oublié l'action que l'eau exerce sur

(1) L'auteur ne parle point, dans sa notice, du soulèvement lent du pays, et pourtant c'est là la base de son système : c'est que ce soulèvement est un fait aujourd'hui connu de tout le monde, une croyance répandue même chez les paysans, et dont il ne croit pas nécessaire de parler. Il faut également avoir en vue, pour bien comprendre la portée de ce Mémoire, que l'auteur n'écrit que d'après l'expérience qu'il a acquise dans le pays de Krageröe; que donc toutes les directions générales qu'il donne ne se rapportent qu'à cette contrée; et que personne, dans ce pays, ne croyant aux effets prodigieux des glaciers, il n'a pu penser qu'il fût nécessaire de combattre cette opinion dans ses détails.

Les *milles* dont on parle dans ce Mémoire sont des milles norvégiens de 11,295 mètres. (L. Frapolli.)

les roches en place et sur les détritus de la côte. Il ne sera donc pas inutile, ce me semble, avant d'adopter de nouvelles théories, de rechercher si une cause tout actuelle ne peut pas avoir produit le même effet. Je crois, d'ailleurs, que plusieurs causes ont pu également contribuer à ce phénomène. Souvent des agents fort différents produisent des effets analogues.

» Je dois d'abord repousser la *théorie des glaciers*. Les observations qui vont suivre ne laisseront, je pense, aucun doute sur l'inadmissibilité de l'hypothèse qui regarde les glaciers comme ayant exercé une action générale.

» La *théorie de Sefström* (*Ann. de Poggendorff*, vol. 13) a de fortes présomptions en sa faveur. On dirait à la première vue qu'on en retrouve les traces dans tout le Nord, ici, en Suède, en Finlande. Il est, en effet, impossible que des amas de blocs et de galets aussi énormes que ceux qu'on trouve amoncelés dans plusieurs localités, loin de leur gîte primitif, aient pu parcourir de grands espaces sans qu'une action de glissement et de polissage se manifestât sur la surface des rochers qui leur servaient de lit.

» Les idées de *M. Fromherz* (1) se rattachent en partie aux précédentes. M. Fromherz admet que le polissage des rochers a eu lieu par suite de la débâcle d'anciens lacs, c'est-à-dire au moyen de galets transportés par des eaux torrentielles. L'auteur ajoute pourtant que les rochers polis par les eaux dont il parle *ne sont jamais striés*.

» Je vais essayer à mon tour de prouver combien l'action de la mer sur les côtes est considérable, et que c'est principalement *aux eaux actuelles de la mer*, *des rivières*, etc., *qu'est dû ce phénomène de friction; que dans tout cela l'action des courants diluviens n'a été que partielle*. J'appuierai cette thèse de toutes les observations qui sont à ma disposition.

» M. Keilhau a donné, il y a longtemps, le récit d'un fait dont j'ai dû également être souvent le témoin, et qui montre avec une grande évidence la réalité de ce mode d'action. « Près de Brand-
» wig, dit-il, sur la terre de Tusteren, où une tempête nous a
» retenu pendant deux jours, nous avons pu étudier l'action que les
» eaux, agitées violemment, exercent sur les rochers de la côte
» au moyen des galets de toutes grosseurs. Plusieurs sillons creu-
» sés dans un gneiss très dur descendaient jusqu'au niveau de la

(1) *Geognostische Beobachtungen über die Diluvial-Gebilde des Schwarzwaldes.....*, etc.

» mer sur un rivage bas et doucement incliné. Une grande quan-
» tité de galets obstruaient ces sillons. A chaque retour de la va-
» gue ils étaient lancés avec force vers la partie supérieure des
» cannelures; lorsque la vague se retirait ils revenaient en roulant
» à leur première place. » Cette description jette une vive lumière sur la formation des sillons dans des roches dures, surtout si l'on songe que ces sillons courent souvent parallèlement avec la stratification. Les bras de mer entrent dans les terres dans la direction de la stratification; leur forme détermine à son tour la direction de la vague, et celle-ci exerce son action sur la surface du sol. Une telle action n'a pu se continuer pendant la longue durée des siècles géologiques, sans que les roches en aient été arrondies et polies, sans qu'elles en aient été recouvertes de stries et de sillons.

» Que la mer soit agitée ou tranquille, elle est toujours animée d'un mouvement perpendiculaire aux terres, mouvement qui, chez l'habitant de la Norvége, est connu sous le nom de *Dönning*, *Dragsjöe*, *Dragsue*. Tout le phénomène de friction peut se résumer dans ce mouvement qui, augmentant grandement par les temps d'orage, exerce une action très forte sur les côtes. La vague entraîne alors avec elle le sable et les pierres de la grève, les lance contre le rivage, et, là où ces projectiles viennent frapper, des morceaux et même des quartiers de rochers sont détachés; entraînés par l'élément en fureur, ils lui servent comme d'outil pour de nouvelles démolitions. Or, tout cela ne peut se faire sans que le striage des rochers frottés et arrondis en soit la conséquence.

» On est d'ailleurs également forcé d'accorder que les glaces actuelles, chargées toujours pendant l'hiver de galets de toutes dimensions, peuvent, elles aussi, exercer une pareille action de striage; car au printemps, lors du dégel, elles subissent de même ce mouvement perpendiculaire à la côte.

» L'adoption absolue de la théorie de Sefström, du moins pour ce qui regarde la Norvége, ne saurait répondre aux faits observés. Il y a des endroits où le fond de la mer est formé d'une multitude de petites croupes rocheuses s'enchaînant l'une immédiatement à côté de l'autre; si le niveau de la mer était plus bas, ces îlots, dont on ne voit que le faîte, se dessineraient sur un sol profondément ondulé. Des sillons et des stries à double courbure en recouvrent généralement les parties orientales et occidentales, souvent même les parois verticales (*pl.* II, *fig.* 20 et 21). Or, ces sillons et ces stries ne sauraient être attribués à un courant de galets, car, pour pouvoir suivre toutes les inégalités d'un sol accidenté, il aurait fallu que ce courant eût un mouvement ondulatoire du nord

au sud, ce qui n'est pas compatible avec les propriétés que Sefström lui reconnaît. D'après cet auteur, la débâcle a dû former une masse pâteuse épaisse et même visqueuse; elle a dû avancer avec une force et une rapidité extraordinaire, et exercer une haute pression sur les parties inférieures. Elle n'a donc pu suivre tous les contours du pays; mais lorsque, par exemple, elle venait de se heurter contre la paroi d'un rocher plongeant vers le nord, tel qu'il est représenté dans la *fig.* 22, *pl.* II, une partie de la bouillie diluvienne a dû s'arrêter en *a*, et tandis que celle-ci remplissait le creux, le reste a dû passer par-dessus : ce serait là l'effet théorique d'un tel courant. Malheureusement le fait n'y répond pas, car même dans de telles localités on trouve souvent la surface de la roche à nu et recouverte de stries et de sillons. D'ailleurs, plusieurs de ces trous tuberculeux qu'on connaît sous le nom de *marmites de géants* qui s'y trouvent, et qui ont 4 et 5 pouces de diamètre sur plus de 2 pieds de profondeur, sont contraires à l'idée du mouvement d'une telle masse, et parlent en faveur de l'action de l'eau. Mais une autre circonstance s'oppose en dernier lieu à ce que l'idée de Sefström puisse prédominer : c'est la quantité des galets indigènes des districts respectifs, qui ne forment pas moins des deux tiers des dépôts meubles de la contrée; ces galets ne peuvent avoir été frottés, arrondis et polis que près de leur gisement et par les eaux.

» La grande difficulté qui se présente est de savoir comment un certain parallélisme général des stries peut être également expliqué par l'action d'un courant de galets ou par celle des eaux. C'est un champ nouveau à travailler et où l'on n'a encore fait que très peu d'observations.

» D'après M. Keilhau, si, sur les côtes occidentales de la Norvége, à commencer du cap Lindesnäs, les eaux de la mer se trouvaient tout à coup élevées de plusieurs centaines de mètres au-dessus du niveau actuel, ces côtes seraient fort peu changées dans leurs contours; les hauteurs en deviendraient plus déprimées, les vallées, sans varier dans leur direction, ne seraient qu'un peu plus larges et un peu plus étendues. Cette loi est également applicable au pays de Krageröe et de Brewig, et même à toute cette portion de côte jusqu'à 7 milles environ à l'intérieur. Or, une fois qu'il est prouvé que la direction des hautes vallées est ordinairement la même que celle des vallées qui sont aujourd'hui au niveau de la mer, le parallélisme général des stries avec ces vallées devient dans tous les cas une condition nécessaire, soit que l'on admette des courants venant du nord et suivant le cours des

dépressions du sol, soit que l'on adopte l'action des eaux.

» Mais si le parallélisme général des stries, prises en bloc, peut être expliqué également par la théorie des courants et par celle des vagues, la disposition des stries sur chaque petit îlot ne peut l'être que par cette dernière. Les vagues de la mer se partagent après leur choc contre les côtes émergées des petits écueils (Scheeren), et, par un mouvement circulaire, elles reviennent frapper ces mêmes rochers en les remontant du côté opposé ; or, ce mouvement de l'eau a une direction parfaitement analogue à celle qui est indiquée par les stries, qui s'abaissent des deux côtés en partant du milieu de ces petites îles, lesquelles ne se montrent souvent au-dessus de la mer que comme de petites moitiés d'un sphéroïde allongé ou irrégulier. Au surplus, les vagues, en frappant avec une grande violence contre la partie sud des écueils, en détachent peu à peu des blocs de toute grandeur, ce qui fait que ce côté est plus rarement arrondi que le côté nord, lequel n'est exposé qu'à l'action de frottement, de polissage, et striante, mais non à l'action démolissante des vagues.

» Les vagues gênées dans leurs mouvements par les formes du rivage, et même par les accidents du fond, sont obligées de se résoudre souvent en des courants tortueux et complexes, dont l'empreinte se trouve fixée sur les roches de la côte. Que si de pareilles actions sont évidentes près du niveau de la mer, nous pouvons également admettre qu'elles ont lieu sur son fond, et arriver ainsi à une explication du phénomène observé près de Carlskrona, en Suède, où l'on a trouvé des sillons à 21 pieds au-dessous du niveau de la mer. Il n'est pas nécessaire alors de recourir à un enfoncement du sol postérieur au soulèvement du pays.

» J'avoue qu'il est assez difficile d'expliquer par notre système les faits qu'on observe près des deux chutes de *Dalelf*, en Suède. On trouve dans le lit de cette rivière plusieurs rochers portant des sillons extrêmement bien conservés, et qui font avec la direction des eaux un angle de 75° à 86°. Le Dalelf entraîne sans cesse pardessus ces cannelures une immense quantité de pierres, de sable et de gravier, et pourtant la netteté des stries qui ornent les sillons n'a été aucunement affectée. Ce fait est à la vérité très scabreux; je ne crois cependant pas impossible de l'expliquer. Il suffit d'admettre, ce qui n'est pas improbable, que les eaux du Dalelf prennent un cours différent près de ces sillons.

» J'admets, du reste, que ce que j'ai dit de l'action de la mer peut s'appliquer tout aussi bien à celle des rivières.

» Il suffit de songer au recourbement des stries et des sillons

qu'on voit si souvent sur des surfaces déjà arrondies et polies, pour qu'on ne soit plus tenté d'attribuer le phénomène à l'action des glaces, car celles-ci, n'étant pas aussi malléables que les eaux, ne pourraient aucunement suivre des courbures aussi prononcées.

» Les dépôts de galets abondent surtout près d'Arendal, et dans le midi de la Norvége, où ils recouvrent et où quelquefois ils constituent même entièrement des îlots de toute grandeur. Dans ces dépôts les deux tiers des galets à peu près appartiennent aux roches du pays ou des environs; les autres sont étrangers et proviennent du terrain de transition de Christiania. Qu'il en soit dit de même des dépôts des environs de Krageröe. L'île de Jomfruland, s'étendant sur un mille de longueur, est formée entièrement de galets de cette même nature, mélangés à du sable et à des argiles. On trouve également dans le pays des blocs isolés appartenant principalement à des porphyres, à des schistes argileux, à du calcaire de transition avec fossiles, ou bien à des conglomérats. »

Explication des planches accompagnant la notice de M. Weibye, sur la théorie des vagues.

Planche I. — Carte topographique des environs de Krageröe, en Norvége.

Planche II. — *Fig.* 1 et 2. — Représentent des portions de la partie N. et de la partie S. de l'île de Fladskjöer, près de Portöer, où l'on voit des stries dans différentes directions et des sillons recourbés.

Fig. 3. — Point correspondant sur la carte au Korsesund, près de Skadöe. On y remarque un sillon recourbé et strié en deux sens.

Fig. 4. — Paroi d'un rocher strié et sillonné, près de Portoer. Il est marqué sur la carte par la lettre *a*.

Fig. 5. — Représente une partie d'un îlot situé à environ un demi-mille à l'O. du port de Portöer, où deux sillons striés vont déboucher dans une grande marmite de géants.

Fig. 6. — Paroi verticale d'un rocher près d'Osterriisöer, environ 3 milles à l'O. de Krageröe, où l'on voit les stries arriver jusqu'au point x, et s'arrêter lorsque la paroi tourne vers le N., ce qui prouve qu'elles ne peuvent être formées par une débâcle venant de ce côté.

Fig. 7. — Fait voir des sillons x, y, z, qui remontent en rayonnant, et des stries. Næssundholm, près de Krageröe; point *d*.

Fig. 8. — C'est une paroi inclinée vers le S. sur la partie orientale de Skarholm (point *e*), sur laquelle on ne trouve pas seulement des sillons tortueux et striés, mais encore des stries droites, couchées presque horizontalement, et se dirigeant de l'E. à l'O.

Fig. 9. — Représente une portion de la partie N. de la même île (Skarholm), où l'on voit, au point x, des sillons tortueux et striés.

Gravé sur pierre par les f.rs Arad.

Lith. Kaeppelin & Nottaire

BRITISH MUSEUM
NATURAL HISTORY
SD

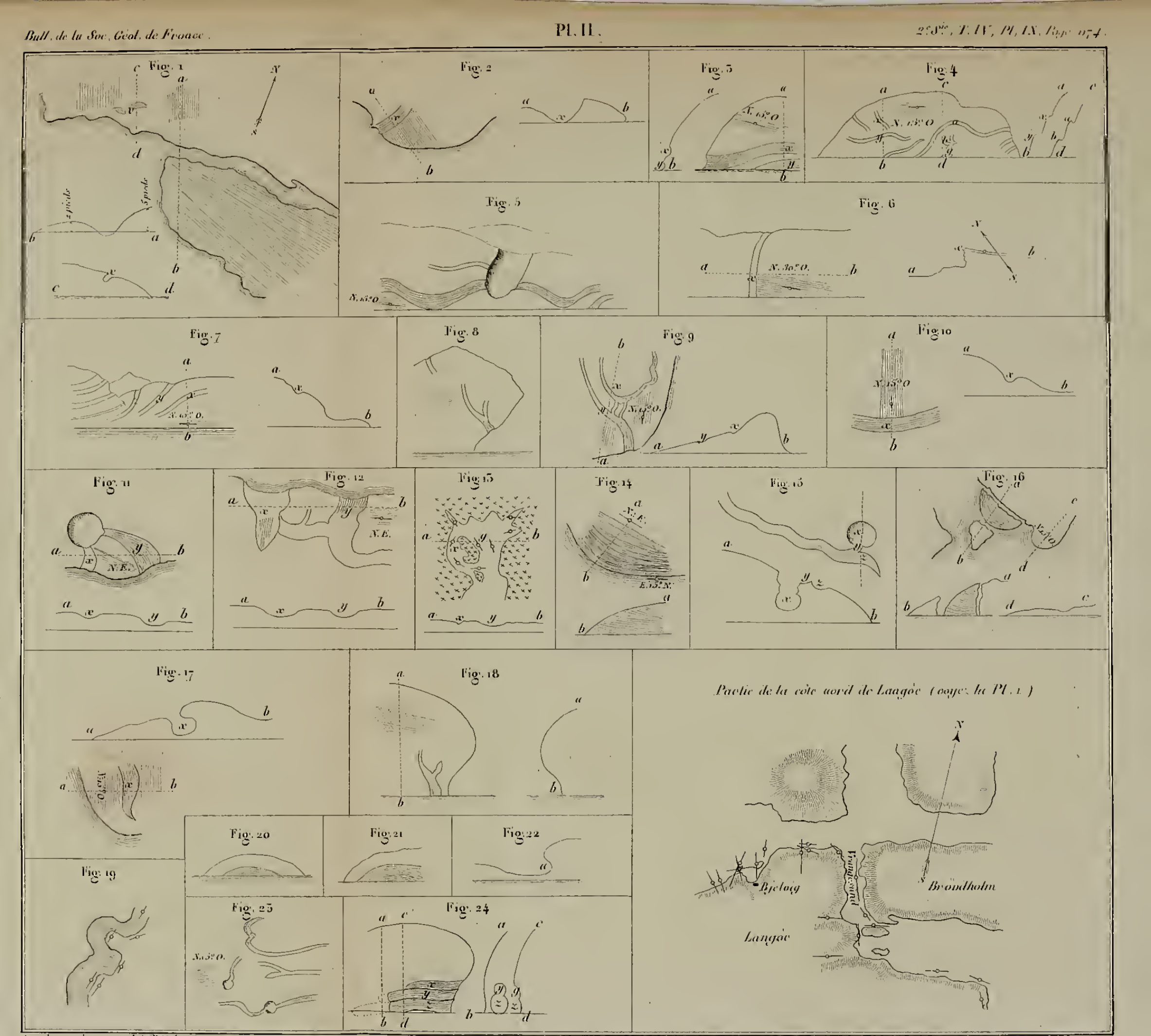


Fig. 1
Fig. 2
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8
Fig. 9
Fig. 10
Fig. 11
Fig. 12
Fig. 13
Fig. 14
Fig. 15
Fig. 16
Fig. 17
Fig. 18
Fig. 19
Fig. 20
Fig. 21
Fig. 22
Fig. 23
Fig. 24
Partie de la côte nord de Langöe (voyez la Pl. I)
Bjetoig
Broudholm
Langöe

BRITISH MUSEUM
GRANT
NATURAL HISTORY

Fig. 10. — Point remarquable sur Flumlevigholm, près d'Aröe, où le sillon *x*, strié et recourbé, est coupé par les stries droites de la surface courant au N. 15° O.

Fig. 11. — Marmite de géants sur Sanöe, près de Boröe, de laquelle sortent deux sillons recourbés, qui sont coupés par la direction d'autres stries rectilignes qui recouvrent la surface.

Fig. 12. — Partie de Kielsöe, près de Gumöe, avec des sillons tortueux striés.

Fig. 13. — Partie granitique sur Dybssundholm, dans le Kiilfjord, dans laquelle on voit des amas considérables de mica, dont les feuillets sont implantés verticalement à la surface. Les parties micacées sont polies presque comme une glace, et très bien striées dans plusieurs directions, tandis que le quartz qui les entoure, et dont la surface est un peu plus élevée que celle du mica (voyez la coupe, où les lettres *x*, *y* indiquent le mica), ne montre aucune trace de polissage ni rien de semblable. Dans un cas pareil on ne saurait songer ni aux courants de galets ni à la glace; il n'y a que l'action de l'eau qui puisse expliquer un pareil fait.

Fig. 14. — Portion de la partie N. de Fengesholm, du côté de Portöer. Les stries courent ici, près du niveau de l'eau, vers l'E. 15° N.; puis elles divergent toujours plus en s'élevant sur la côte, jusqu'à ce qu'elles acquièrent la direction rectiligne N.-E.

Fig. 15. — C'est le point *b* sur l'île Fladskjöer, qui est très remarquable à cause d'un sillon qui, après s'être recourbé plusieurs fois, finit dans une marmite de géants creusée en spirale.

Fig. 16. — Montre une courbure marquée des stries sur un rocher incliné se trouvant dans le Sondeler-Fjord (golfe de la longueur de 1 mille, et qui entre, vers l'O., dans les terres près d'Osterriisöer), en un point où celui-ci, après avoir couru vers l'O., tourne brusquement vers le N., et devient plus étroit.

Fig. 17. — Sillon tortueux et strié *x*, au voisinage du point représenté par la *fig.* 16.

Fig. 18. — Point sur Kaholmen, près Dröbak, à 4 milles au S.-O. de Christiania. On y voit une paroi rentrante et arrondie, sur laquelle se trouvent non seulement des sillons recourbés et striés, mais encore des stries courant dans deux directions différentes, et s'entre-croisant sous un angle de près de 40°.

Fig. 19. — Petite rivière, à environ 2 milles au N. de Krageröe, où j'ai trouvé des stries qui suivaient, dans quatre endroits différents, le cours du ruisseau.

Fig. 20 et 21. — Se rapportent au texte.

Fig. 22. — Se rapporte au texte; c'est la coupe d'un point où les stries se prolongent sur la partie basse jusqu'en *a*.

Fig. 23. — Représente plusieurs sillons tortueux sur Bjornöe, près du Havssund; ils vont aboutir en partie à des petites marmites de géants. La surface sur laquelle on les trouve n'a qu'une très faible inclinaison vers l'O.

Fig. 24. — Point *l*, au Valeberg, près Krageröe, où l'on voit trois

sillons striés x, y et z, courant du S.-E. au N.-O., contrairement à la direction générale du lieu. Les deux inférieures y et z vont finir dans la roche compacte, et ressemblent à deux grandes marmites de géants couchées. Il est évident que ces sillons et ces stries ne peuvent être formés ni par des courants de galets venant du N. ni par des glaces; leur production ne peut donc encore être due qu'au jeu des vagues marines, lorsque leur niveau était plus élevé qu'aujourd'hui, car il n'y a point de doute que la Norvége s'élève.

Des phénomènes pareils à ceux-ci sont visibles dans bien d'autres points.

Pour que les opinions de M. Weibye eussent des chances d'être adoptées, il faudrait que les observations faites sur les côtes des autres pays à roches dures, telles que celles de la Bretagne ou des autres contrées du Midi et même intertropicales, pussent concorder parfaitement avec celles, du reste très précieuses, qu'il a faites dans la Norvége; mais le phénomène de striage n'est pas un phénomène général des côtes actuelles; on voit bien dans la Bretagne, par exemple, des surfaces à peu près polies par les eaux de la mer, et des cannelures d'érosion, mais aucunement des stries. M. Weibye a démontré que les stries ne sont pas disposées suivant une ligne unique, ni même toujours suivant les lignes de plus grande pente; il a démontré que la disposition de ces stries est en rapport direct avec le mouvement des vagues; mais après la lecture de sa notice on se demande si c'est bien l'eau aidée du sable et des galets qui les produit. Or, la plus simple réflexion nous fait dire oui, pourvu qu'on entende sous ce nom l'eau à l'état solide, pourvu qu'on y introduise l'idée des glaces hivernales. Or, c'est précisément ce qu'a fait M. Forchhammer et déjà depuis longtemps; c'est là la véritable théorie de M. Forchhammer, celle des *glaces flottantes*. C'est là à quoi m'ont conduit mes propres observations, dont j'ai eu l'honneur de présenter les résultats à la Société, dans une note du 11 janvier de cette année.

M. Forchhammer, qui n'a cessé de compléter ses idées par de nouveaux travaux pratiques, m'a écrit plusieurs lettres sur ce sujet. Je demanderai la permission de faire connaître quelques unes des observations nouvelles qu'il a faites, qui présentent le plus haut intérêt, et qui rendront toujours plus évidentes les différences radicales qui existent entre la théorie des glaces flot-

tantes et celle des vagues, entre les opinions de M. Forchhammer et celles de M. Weibye. J'aime mieux offrir sans plus de délai à la Société ces observations, que de les incorporer, suivant les intentions de M. Forchhammer, dans un travail dont je m'occupe, et qui n'est point achevé; on aura l'avantage d'y suivre sans commentaires la pensée de l'auteur dans la marche qui conduit à ses conclusions.

Nouvelles observations de M. Forchhammer sur les surfaces striées et polies du Danemark. (Extrait d'une lettre de l'auteur à M. Frapolli. Une partie seulement de ces observations a été publiée, en danois.)

« Bornholm est très riche en rochers arrondis et polis et en stries très bien caractérisées; mais on n'y voit aucune part le phénomène de Stoss et Leeseite, tel qu'il a été trouvé si généralement en Suède (1).

» Les rochers de granite et de gneiss sont ordinairement arrondis, et leur surface affecte une forme ellipsoïdale; ce n'est que sur les côtes qu'on rencontre des falaises à pic, qui sont ici, de même qu'en Suède, produites par l'action combinée du fendillement vertical du granite-gneiss de la contrée qui est très riche en feldspath et des vagues de la Baltique. Mais ces falaises ne sont aucunement en rapport avec la direction des stries de friction.

» La croupe arrondie et aplatie de la plus élevée parmi les collines de l'île, le *Rytterknegt*, haute de 500 pieds, est recouverte de stries très bien marquées et d'une grande beauté; elles courent du N. 42° E. au S. 42° O. Sur les pentes de la colline, les stries s'éloignent un peu de leur direction normale et elles se dirigent d'un côté vers le S. 33° O. et de l'autre au S. 51° O. L'orientation des stries du sommet répond à la direction de la plus grande étendue de la Baltique.

» A l'extrémité la plus méridionale du granite-gneiss, là où cette roche vient à être recouverte par les couches peu inclinées

(1) M. Forchhammer, fidèle à son système de s'en tenir à la stricte observation des faits, cite ici, pour les pays qui n'ont pas été l'objet de ses recherches spéciales, l'opinion commune sur la constance sans exception des Stoss et Leeseite; mais il démontre en même temps que, pour le théâtre de ses observations, la croyance que ces parties seraient en rapport avec la formation des stries, repose sur une erreur.
(L. Frapolli.)

du plus ancien grès de transition de la Scandinavie, les stries se dirigent du S. 3° O. au N. 3° E. Mais les stries les plus belles se présentent sur *le Marteau* (der Hammer), rocher insulaire qu'une plage sablonneuse rattache aux terres de Bornholm. Ce sont les stries les plus nettes et le mieux conservées que j'aie jamais vues; elles sont gravées sur une roche dont le poli surpasse également en beauté tout ce que je connais ailleurs. L'outil de polissage, le sable, recouvre encore cet îlot dans nombre d'endroits; il y est même continuellement accumulé par la mer qui le rejette sur les côtes. Les stries qui, suivant l'orientation des pentes, courent différemment dans une direction O. 7° S. et S. 38° O., sont ainsi moyennement parallèles avec la marche des eaux entre la Suède méridionale et la pointe septentrionale de Bornholm, c'est-à-dire avec le courant principal qui amène au Sund les eaux surabondantes de la plus grande partie de la Baltique.

» Sur les rochers qui se trouvent près du niveau des eaux à l'orient de l'île, on voit çà et là beaucoup de stries et de sillons qui ne sont pas très marqués, il est vrai, mais qui sont disposés perpendiculairement à la côte, et qui par conséquent, vu le soulèvement régulier et continuel de l'île, ne peuvent pas être anciens.

» Cependant ce qu'il y a de plus intéressant, ce sont les blocs isolés et striés qu'on voit sur la partie méridionale et occidentale de l'île. La côte est parsemée sur ces points d'un nombre infini de gros blocs isolés appartenant à différentes variétés de granite, au grès de transition ou au grès des keupers; ces blocs s'avancent au loin dans la mer, et plusieurs d'entre eux présentent des surfaces striées régulièrement et en ligne droite. Les stries qui recouvrent la surface de ces masses isolées sont perpendiculaires à la ligne des côtes; les rares exceptions à cette règle ne peuvent dépendre que d'une dislocation postérieure des blocs, effectuée soit par les glaces, soit par la main de l'homme. Jamais je n'ai vu striée la surface inférieure de ces blocs, en sorte que *je ne saurais plus conserver le moindre doute que ces blocs ont été striés à leur place actuelle, et depuis leur isolement de la roche-mère.* Deux localités de cette côte se font remarquer par l'abondance des blocs striés. L'une est peu éloignée du petit village de pêcheurs du nom d'Arnager; la plage, bornée par une falaise haute et verticale de grès vert marneux, y est recouverte en même temps par les silex anguleux qui, havés et brisés par la vague, s'écroulent en grande quantité. Ce sont, à mon avis, ces silex qui, à l'aide du mouvement des flots et des glaces de la côte, ont servi et servent encore toujours de burin pour le striage des rochers de l'endroit. La deuxième localité, qui se

trouve près de Homandshald, présente des circonstances pareilles; on y trouve également dans la falaise des roches siliceuses renfermées au milieu des couches molles d'une formation qui n'est pas encore suffisamment déterminée.

» Un autre fait extrêmement remarquable, c'est le striage du rocher calcaire de *Faxóe*. Ce récif de coraux, appartenant à la craie la plus récente, est formé en partie de calcaire celluleux, en partie d'une masse molle presque crayeuse, et en partie d'un calcaire dur et compacte susceptible d'être poli, et qu'on employe même parfois pour les usages du marbre (1). Sur la pente O. de la colline de Faxóe, sur un point qu'on peut regarder comme étant à environ 200 pieds au-dessus du niveau actuel de la mer, on trouve le calcaire compacte marmoriforme très bien développé. En déblayant pour y établir une carrière, on a trouvé toute la surface découverte du calcaire très bien polie et striée. On y voyait clairement trois systèmes de stries, et en dehors de cela une quantité de raies courbes et irrégulières. D'après l'ordre avec lequel ils se coupaient, il était facile d'établir parfaitement l'époque relative de formation de ces trois systèmes de stries droites. Ils affectaient les directions suivantes : le système de stries le plus ancien, qui était en même temps le moins évident, avait une direction E. 2° N. et O. 2° S.; le deuxième système, le plus marqué de tous, oscille entre l'E. 23° à 18° S. et l'O. 23° à 18° N.; le dernier et troisième système de stries court E. 43° à 45° S., à l'O. 43° à 45° N. L'action de déplacement qui a produit ces différents effets de striage s'est donc tournée pendant le cours des temps de l'E. au S.-E. ou bien de l'O. au N.-O., et ce changement dans la provenance de l'action ne s'est pas fait peu à peu, mais dans des périodes séparées les unes des autres d'une manière tranchée.

» Tout l'aspect de ce phénomène, soit à Bornholm, soit sur la Seelande orientale, me paraît absolument inconciliable avec la théorie qui admet les glaciers comme étant la cause du burinage. Le *Rytterknegt*, sur Bornholm, est, dans une étendue de 100 milles (de 15 au degré) du S.-O. au N.-E., la montagne la plus élevée

(1) Ces couches ont été soigneusement décrites dès 1835 par M. Forchhammer (*Danmarks geognostische Forhold*, *Kjöbenhavn*, 1835), qui dès-lors les regardait comme appartenant à un étage particulier de la craie, plus récent que la craie supérieure d'Angleterre, et auquel ce savant rapportait dès-lors le calcaire de Maëstricht. Ce terrain rentrait donc depuis longtemps dans l'étage inférieur des formations que M. Élie de Beaumont a toujours regardées comme intermédiaires entre la craie blanche et l'argile plastique de Paris.

du pays, et les glaciers qui auraient dû former les stries de Faxöe auraient été obligés de changer plusieurs fois la direction de leur marche, et cela non successivement, mais d'une manière tranchée, ce qui me paraît incompatible avec la nature des glaciers. Ces observations ne peuvent non plus être mises d'accord avec les théories qui attribuent le burinage à une inondation, qu'on la fasse venir du pôle nord, ou qu'on lui assigne comme centre de provenance les hautes montagnes de la Scandinavie. Le changement de direction sur ces deux îles peu éloignées l'une de l'autre, Bornholm et Seeland, les stries courant au N.-E. sur le Rytterknegt, et au S.-E. sur Faxöe (celles du dernier système), indique également un changement du point d'origine dans le mouvement qui a donné lieu à ces stries. Or, les directions suivant lesquelles les stries de Faxöe ont changé dans le cours des temps sont précisément en rapport avec les différentes hauteurs qu'atteint le pays entre Faxöe et la Baltique. Vers l'est s'élève la *Stevens Klint*, rocher de calcaire crétacé, ayant une hauteur maximum d'environ 100 pieds, et qui reste par conséquent au-dessous du rocher strié de Faxöe. Plus loin, également vers l'est, s'étend la partie méridionale de la Scanie, qui de même ne dépasse que légèrement le niveau de la mer. Les stries de Faxöe les plus récentes sont tournées vers le golfe du même nom qui est encore complétement ouvert; le changement de la direction du striage me paraît donc être en rapport avec le changement de la direction de la vague produit par le soulèvement du fond de la mer. Le calcaire strié de Faxöe est recouvert immédiatement par une couche sableuse épaisse de 12 à 14 pouces; cette couche sableuse a été, comme le sable du rocher du Marteau à Bornholm, la matière polissante; les quelques galets isolés qu'elle renferme rappellent l'outil qui a gravé les stries. Sur la couche de sable repose une autre couche de 6 à 8 pieds, appartenant à une formation diluvienne à laquelle j'ai donné le nom d'argile à blocs erratiques, et qui représente l'étage moyen de notre grand terrain erratique. L'époque où ce dépôt s'est formé tombe dans la période actuelle; les fossiles qu'il renferme dans quelques rares endroits sont identiques à ceux qui habitent aujourd'hui les profondeurs de la mer du Nord. Lorsqu'on rapproche cette formation des blocs striés de Bornholm, on ne peut que conclure à une durée très longue du phénomène; car son dépôt paraît s'être continué depuis un temps antérieur à la présence de l'homme dans nos pays du Nord, jusqu'à l'époque où la disposition des côtes était la même que celle d'aujourd'hui.

» Je vais ajouter quelques observations qui, à mon avis, ne laissent plus aucun doute que de pareilles stries se forment encore de nos jours. Le golfe appelé Isseſjord découpe profondément par ses mille détours la partie septentrionale de l'île de Seeland. Des millions de blocs et de galets gisent dispersés sur ses plages sableuses et doucement inclinées. Lorsqu'en hiver la glace se forme, elle les entoure et les enclave. Mais pour que la glace puisse soulever et entraîner toutes ces pierrailles, il faut une circonstance particulière ; il faut que sa rupture au dégel coïncide avec la crue des eaux. Pendant l'hiver de 1844, les eaux s'étaient figées autour d'un des plus marquants parmi ces blocs ; la personne qui me servait pour ces renseignements se servit de l'expression *gros bloc*, c'est-à-dire un bloc d'environ 60 à 80 pieds cubes ; au printemps, à l'époque du charriage, un glaçon l'emmena au large avec lui. La pression que cette grande masse en mouvement a exercée sur la surface du sable, dont l'inclinaison était bien au-dessous d'un degré, a dû être énorme ; car il en résulte sur une longueur de plusieurs centaines de pieds un sillon très profond, et comprimé si fortement dans le sable argileux et humide, que six mois plus tard, lorsqu'en septembre j'ai revu la localité, la trace n'en était pas encore effacée, et pourtant les vagues n'avaient cessé de balayer cette plage. Il est clair que si ce sol peu incliné avait été constitué par du granite, le bloc y aurait empreint sa marche, en traces ineffaçables, par la gravure d'autant de raies que de pointes saillantes qu'il possédait, et qui pouvaient venir en contact avec le fond. Sur des roches tendres, comme du schiste ou certains calcaires, ce bloc aurait produit des stries et même des cannelures. Sur le sable il ne pouvait former qu'un sillon qui devait bientôt disparaître de nouveau. L'exemple que nous venons de donner est un burinage exécuté par la vague en retraite. Il est naturellement perpendiculaire à la côte.

» J'ajouterai encore le récit d'un événement qui pourra montrer d'un côté la force avec laquelle les glaces et les blocs qu'elles renferment peuvent être mis en mouvement par la vague lorsqu'elle avance et remonte sur le rivage, et de l'autre comment les glaçons peuvent exercer leur action même à une certaine profondeur au-dessous du niveau de la mer. Vers le milieu de février 1844, nous fûmes surpris inopinément par un froid très intense, et le Sund, principalement vers la côte de Seeland, se couvrit rapidement de glaces qui, chassées par une violente tempête du S.-E., venaient se jeter sur cette même côte. Les glaces s'amoncelèrent principalement au fond de la baie de Täarbeijk, et l'on

commença à avoir des craintes sérieuses pour l'existence du village de pêcheurs adossé au rivage. Mais les glaces ayant pris, et la côte s'étant fermée entièrement, on se croyait déjà hors de danger, lorsque tout d'un coup la masse entière des glaçons réunis se mit en mouvement, remonta sur la plage de manière à y former une digue de plus de 16 pieds de hauteur, et atteignit dans un clin d'œil les maisons les plus voisines. Les parois des bâtiments furent emportées, et la marche de ce terrible glacier ambulant continua d'être si rapide, que les habitants auraient eu de la peine à se sauver si un pêcheur, effrayé par le bruit sinistre de la mer, n'avait songé à les réveiller quelques minutes auparavant. M'étant rendu sur les lieux le lendemain, je trouvai non seulement la côte entourée par des chaînes de collines formées d'un conglomérat glacial, mais je vis plusieurs raies pareilles de collines se prolonger au loin dans la mer; ces collines, d'après le témoignage de tous les pêcheurs, étaient bien fixées sur le fond de la mer; la glace renfermait une grande quantité de *fucus*, des petites pierres et du sable. Or, il est clair qu'une telle masse de glace, ayant un mouvement aussi rapide et aussi puissant, a dû bouleverser et changer le fond de la mer, et que si ce fond eût été formé par une roche dure, le sable et les pierres qu'elle renfermait y auraient gravé des stries et des sillons.

» Permettez-moi à présent d'appeler votre attention sur une distinction très importante, et qui a été oubliée ou imparfaitement comprise par la plupart des auteurs qui se sont occupés de ce sujet. C'est la différence entre les îles de glace (Eisinseln) et les glacons de charriage (Eisschollen). Les îles de glace (montagnes de glace) sont, comme tout le monde le sait, de véritables portions de glaciers qui, descendant des côtes abruptes des mers polaires, se jettent dans la mer et sont entraînées par elle. Ce phénomène des glaciers qui se précipitent est si commun sur la côte occidentale du Grœnland, qu'on y a consacré une expression propre; les habitants disent : *das Eis kälbt* (la glace fait le veau, elle fait la culbute). Ces îles de glace plongent profondément dans la mer. Elles ne peuvent jamais s'approcher des côtes peu inclinées, et si par hypothèse elles devaient produire des stries, elles ne pourraient le faire qu'à des profondeurs considérables. Leur glace est très pure, et ils ne renferment des blocs que très rarement. M. Ulrich, jeune officier de la marine danoise, échoua, dans l'été de 1846, contre une île de glace dans le détroit de Davis. Séquestré sur la glace pendant que les autres naufragés s'étaient jetés dans les embarcations, et étaient allés à la recherche des côtes du

Gröenland, il vit passer plus de 400 grandes îles de glace sans qu'il pût y découvrir un seul bloc; et pourtant il avait fixé tout spécialement son attention sur ce point. Les blocs ne sont donc pas communs dans cette région, et cependant les côtes du détroit de Davis abondent en montagnes escarpées, en glaciers et en moraines.

» Les glaçons de charriage se forment dans la mer et dans les rivières. Ils se forment notamment dans le Sund et dans le grand Belt sur le fond de la mer, où l'on connaît cette espèce de glace sous le nom de glace de fond (*grundeis*), et ils s'élèvent ensuite jusqu'à la surface chargés de sable, de graviers et de *fucus* (Seegras) (1). Sur les côtes, la glace entoure les blocs et les emporte avec soi. Par les temps d'orage, les glaçons sont poussés l'un au-dessus de l'autre, *ils se vissent* (*es schraubt sich*), comme disent nos marins, et, lorsque la côte est escarpée, ces montagnes de glace peuvent atteindre jusqu'à 50 pieds de hauteur. C'est à ce genre de glaçons et principalement aux glaces de fond que j'attribue le striage des surfaces peu inclinées des rochers, lorsque les pierres enclavées et chargées de tout le poids de la glace sont lancées par les vagues contre la côte.

» Vous pourrez voir par le fait suivant combien la quantité des

---

(1) D'après les principes élémentaires de la physique, souvent rappelés par M. Élie de Beaumont dans ses cours, la formation du *grundeis* est facilitée. dans la mer et dans les bras qui communiquent avec elle, par la salure plus ou moins grande des eaux.

La densité maximum de l'eau douce étant à environ 4°,40, et son point de congélation à zéro, il en résulte, pour l'eau ayant une température entre 0 et 8°, une tendance à descendre à la partie inférieure : c'est pourquoi il ne se forme jamais de glace au fond d'un étang ni d'un lac. Dans les rivières, les couches d'eau étant fréquemment mélangées par le courant, et la rapidité minimum des eaux étant près du fond, il peut se former du *grundeis*, et il s'en forme en effet.

Mais les conditions pour la formation du *grundeis* sont bien plus favorables lorsqu'il s'agit de l'eau salée. La densité maximum de l'eau de la mer à salure moyenne est à — 3°,67, et elle se congèle à — 2°,55. La différence entre ces deux points n'étant que 1°,12, on voit que le mélange de toutes les couches, dans les bras de mer et dans toutes les parties où sa profondeur ne dépasse pas de beaucoup la limite de l'agitation superficielle, devient très facile et un effet normal; la glace se forme dès lors dans la partie la moins agitée. Pour les eaux mélangées, telles que les eaux des fjords où vont déboucher les rivières, la facilité de formation du *grundeis* sera en rapport direct avec la proportion de l'eau de mer. (L. Frapolli.)

blocs qui sortent chaque année de la Baltique par ce moyen est grande. Dans l'année 1807, lors du bombardement de la flotte danoise, un cutter de guerre anglais, à l'ancre dans la rade de Copenhague, sauta. En 1844, un de nos plongeurs, connu pour un homme probe et de confiance, se décida à descendre pour sauver tout ce qu'il était encore possible de trouver dans le bâtiment naufragé. Il trouva l'entre-pont intact mais recouvert de blocs, dont quelques uns pouvaient avoir une grosseur de 6 à 8 pieds cubes, et on y voyait même çà et là plusieurs blocs accumulés les uns sur les autres. Ce plongeur expérimenté assure que tous les navires coulés à fond qu'il a visités dans notre rade étaient plus ou moins couverts de blocs.

C'est là une formation erratique appartenant aux dernières quarante années. La cause qui fait que les glaçons fondent aujourd'hui de préférence dans le Sund, entre Helsingör et Copenhague, et qu'ils y laissent leurs blocs, repose sur des circonstances particulières. Lorsqu'au printemps la neige du pays appartenant au bassin de la Baltique se fond, il s'établit un courant soutenu sortant de cette mer dans le Kattegat, et pendant les mois de mars et d'avril de grands amas de glaçons passent devant Copenhague. Mais en même temps un courant sous-marin reconduit des eaux du Kattegat dans la Baltique. L'eau du Kattegat et celle de la mer du Nord possèdent dans cette saison une température de beaucoup supérieure à celle des eaux de la Baltique, en sorte que ce n'est qu'au plus grand degré de sa salure (plus du double de celle des eaux de la Baltique) qu'elle doit la propriété de pouvoir se tenir à la partie inférieure. C'est ce courant sous-marin qui, en réchauffant peu à peu les eaux, facilite sur ce point la fusion partielle des glaçons, qui laissent alors tomber les blocs ainsi dégagés qu'ils avaient transportés jusqu'ici (1). »

M. Martins fait au sujet de la communication de M. Frapolli les observations suivantes :

---

(1) Une autre cause accidentelle se joint souvent à celle qu'indique M. Forchhammer pour faciliter la fusion partielle des glaces devant le Sund : c'est le retard apporté à leur sortie par les vents du N.-O., qui, produisant un refoulement temporaire des eaux de la Baltique, les retiennent quelquefois prisonnières pendant plusieurs jours. C'est à des causes analogues ou à des remous qu'il faut attribuer l'accumulation des blocs erratiques par escouades. (L. Frapolli.)

Remarques sur la réponse de M. Frapolli et la théorie des glaces flottantes de M. le professeur Forchhammer, par M. Ch. Martins.

M. Frapolli, attribuant toutes les stries de la Scandinavie à l'action des glaces flottantes poussées par la mer, je lui demandais (p. 240) la *preuve* que la Scandinavie eût été immergée jusqu'à 1400 mètres, hauteur à laquelle on a vu des stries. Au lieu d'une preuve, il renouvelle son affirmation, et son raisonnement est évidemment un cercle vicieux, car il se réduit à ceci : les montagnes de la Scandinavie présentent des stries jusqu'à la hauteur de 1400 mètres; or ces stries ont été tracées par la mer, donc la Scandinavie a été immergée jusqu'à la limite de ces stries. Je demandais des *preuves* de cette immersion, je les demande encore. Puis il cherche à me mettre en contradiction avec M. Desor, qui, dit-il, a admis (p. 204) que la Scandinavie avait été immergée et émergée avant l'époque historique, et que ces changements de niveau remontent au-delà du diluvium.

Mais d'abord, M. Desor ne dit nulle part que la Scandinavie ait été immergée au-dessus de la limite de la couche coquillière, c'est-à-dire au-dessus de 240 mètres; or, c'est là le nœud de la question, et M. Frapolli ne peut pas supposer que M. Desor admette des changements de niveau pendant les périodes géologiques antérieures à l'époque pliocène, lorsque celui-ci commence son article (p. 197) en disant : « Il me reste à traiter des changements de niveau que le sol de la Scandinavie a éprouvés *pendant* l'époque diluvienne, et qui se continuent encore sous nos yeux. » Le paragraphe qui suit n'est que le développement de cette idée. M. Frapolli ne réfutant pas la troisième objection de la p. 420, elle subsiste dans toute sa force.

En répondant à la quatrième, M. Frapolli nie un fait reconnu par tous les observateurs qui ont étudié les phénomènes erratiques en Suède. Selon lui, MM. Keilhau, Daubrée, Siljestroem, Bravais, Murchison, Durocher, Scheerer, Desor et Schimper, se sont trompés, avec moi, en disant que les rochers étaient arrondis vers l'intérieur des terres, escarpés vers la mer, et en concluant de là que l'agent qui les avait arrondis s'avançait des montagnes vers la mer. Comme c'est un fait *de visu*, j'en appelle aux voyageurs futurs. Ils décideront aussi la cinquième question (p. 420), qui est également un résultat direct de l'observation.

Dans la seconde partie de son Mémoire, M. Frapolli expose,

puis réfute lui-même une théorie de M. Weibye, qui attribue, comme M. Eugène Robert, les formes arrondies des rochers de la Scandinavie à l'action des flots. Je n'ai donc point à m'en occuper. La troisième partie est consacrée à l'exposé de la théorie de M. Forchhammer. Les observations de ce savant géologue n'ont point été faites en Scandinavie, mais en Danemark et sur l'île de Bornholm, où les phénomènes présentent une allure différente de celle qu'ils ont sur le continent.

Ne les ayant pas observés moi-même, je me contenterai de soumettre au célèbre professeur quelques doutes, et de lui demander quelques explications. Sa théorie est la suivante : il pense que les blocs ont été transportés et les rochers arrondis et striés par des glaces flottantes, résultat de la congélation de la mer.

Pour expliquer le phénomène erratique de la Scandinavie par les glaces flottantes, résultant de la congélation de la mer, il faudrait, ce me semble, établir les points suivants, qui me paraissent tous contestables :

1° Que les stries gravées sur les rochers, en Scandinavie, l'ont été par un agent qui marchait de la plaine vers les montagnes;

2° Que les blocs et le sable entraînés par des glaçons et poussés sur des rivages peuvent strier les roches *les plus dures;*

3° Que ces stries sont fines, rectilignes, presque parallèles, et identiques à celles que burinent les glaciers actuels. En effet, j'ai mis plusieurs fois comparativement sous les yeux de la Société : 1° des surfaces polies et striées détachées *sous* les glaciers actuels; 2° des surfaces polies et striées par les anciens glaciers de la Suisse et des Vosges; 3° des surfaces polies et striées provenant des environs de Christiania et de Faxoe, près de Copenhague. Les stries et le polissage étaient identiques sur ces trois sortes de roches. L'explication de M. Forchhammer devrait embrasser évidemment les Alpes, les Pyrénées, les Vosges, etc., qui présentent les mêmes surfaces polies que la Scandinavie. Or, dans ces montagnes, les adversaires de l'ancienne extension des glaciers invoquent un agent différent, savoir : des torrents boueux, charriant des cailloux qui ont poli et strié les roches. Il faudrait donc prouver préalablement que les glaciers, les glaces flottantes poussées par la mer et les torrents boueux produisent sur les roches des effets identiques.

4° Une autre circonstance m'embarrasse : c'est l'existence, en Scandinavie et en Danemark, de cailloux frottés et rayés dans tous les sens. Ces cailloux ont-ils aussi été rayés par les glaces flottantes? Si l'on répond affirmativement, alors celles-ci produi-

raient, sous ce nouveau point de vue, un effet *identique* avec celui des glaciers.

En un mot, je ne nie point *à priori* le rôle partiel des glaces flottantes détachées de glaciers ou dues à la congélation de la mer; je le reconnais dans l'existence des blocs qui recouvrent les œsars. Mais, considérant avec MM. de Buch, Élie de Beaumont et Durocher (1) le phénomène erratique comme produit par les mêmes causes générales dans les Alpes, les Pyrénées, les Vosges et la Scandinavie, je répugne à une explication qui ne s'appliquerait qu'à l'un de ces pays et point aux autres De même que les glaciers seuls ne nous expliquent ni les œsars ni les blocs erratiques qui les recouvrent, de même la théorie de M. Forchhammer est inapplicable au phénomène erratique dans les montagnes, même dans celles de la Scandinavie, où tout montre que l'agent qui a nivelé et strié les roches descendait des sommets vers la plaine.

La puissance des glaces flottantes poussées sur le rivage est sans doute fort grande, mais nous n'avons aucune preuve que tous les points de la Scandinavie, depuis 240 jusqu'à 1400 mètres, aient été successivement un rivage à l'époque de la dispersion des blocs. Nous avons même la preuve du contraire, puisque la couche coquillière déposée antérieurement à cette dispersion s'arrête à 240 mètres au-dessus de la mer.

Je terminerai en discutant un fait intéressant rapporté par M. Forchhammer. Un jeune officier danois nommé Ulrich, naufragé sur la glace, dans le détroit de Davis, dans l'été de 1846, vit passer plus de 400 grandes îles de glace sans qu'il pût y découvrir un seul bloc. M. Forchhammer en conclut que les glaces détachées des glaciers ne transportent que rarement des blocs erratiques. J'ai fait la même observation que M. Ulrich, en traversant les banquises de glaces flottantes dans le premier voyage de la corvette *la Recherche* au Spitzberg. En étudiant de près les glaciers de cette île, j'ai trouvé la raison de cette absence *apparente* de blocs erratiques. Lorsqu'une portion de glacier tombe à la mer, il arrive de deux choses l'une : ou bien (et c'est le cas le plus fréquent) les blocs sont posés à la surface du glacier, et alors ils se séparent de lui au moment de sa chute et tombent séparément à la mer : ou bien les blocs sont enchâssés dans la glace, mais alors ils ne sont presque jamais visibles. En effet, les sept huitièmes d'une glace flottante étant immergés dans la mer, il y a sept à parier contre un que le bloc sera dans la partie immergée, et par consé-

(1) Voyez *Bulletin de la Société géologique*, 2e sér., t. III. p. 102.

quent invisible. Cette probabilité augmente encore si l'on réfléchit que le bloc, en vertu de son poids spécifique, infiniment plus grand que celui du glaçon, tend à le faire chavirer et à occuper sa partie inférieure. Pour qu'une glace flottante transporte des blocs à sa surface, il faut qu'elle se détache d'un glacier sans chavirer, circonstance assez rare, comme j'ai pu m'en assurer dans mes deux voyages au Spitzberg.

On trouve néanmoins dans les récits des navigateurs qui ont sillonné les mers polaires de nombreux exemples de blocs transportés par des glaces flottantes. Quelquefois ce ne sont pas des blocs isolés, mais des *moraines entières* qu'une portion de glacier entraîne avec lui en se détachant du reste de la masse. La preuve en est dans l'exemple suivant que j'emprunte au de Saussure des mers polaires, à Scoresby: « Un grand nombre des glaces flottantes de la baie de Baffin, dit-il (1), contenaient des couches de pierres et de terre, et quelques unes étaient chargées de rochers formant une couche de grande épaisseur et pesant, comme je m'en suis assuré par le calcul, *un million* à *deux millions* de quintaux (50,000 à 100,000 tons). L'une de ces glaces flottantes, en particulier, était chargée, jusqu'à la hauteur des hunes du navire, d'une telle masse de blocs empilés les uns sur les autres, qu'on apercevait à peine quelques pointes de glace. J'ai recueilli des échantillons de ces blocs qui consistaient en gneiss, diorite, etc. »

Ainsi, en résumé, des quantités prodigieuses de blocs sont transportées, même par une seule glace flottante, et quant à celles qui paraissent en être dépourvues, si on pouvait apercevoir les sept huitièmes qui sont immergés, on verrait que souvent des blocs sont enchatonnés dans la partie qui se trouve cachée sous la surface de l'eau.

M. Coquand expose brièvement des observations géologiques qu'il a faites récemment sur le Maroc.

Description géologique de la partie septentrionale de l'empire du Maroc, par H. Coquand, docteur ès-sciences, etc.

INTRODUCTION.

Les recherches de la commission scientifique et les mémoires des savants géologues qui ont étudié l'Algérie ont déjà établi la série

(1) *Journal of a voyage to the northern*, *Whale Fishery*, p. 233. 1826.

des terrains qui composent le sol de cette partie de l'Afrique. Dans un travail publié récemment sur les filons reconnus dans ces contrées peu explorées (1), M. Burat nous a initiés à la connaissance des lois qui ont présidé à leur formation, tout en nous dévoilant l'analogie qui existe entre ces dépôts métallifères et les conditions que l'on a signalées dans la composition et l'âge des dépôts classiques de l'Europe. Grâce à ces précieux documents que la science a enregistrés au nombre de ses conquêtes les plus intéressantes, on possède non seulement des données positives sur la constitution géologique de la partie occidentale du bassin méditerranéen, mais encore on a pu saisir et comparer les traits de ressemblance qui existent entre les montagnes africaines et celles qui leur sont opposées sur le continent européen, et généraliser de cette manière les notions que nous possédons sur les grandes lois d'ensemble que la nature sait appliquer avec une uniformité si constante à toutes ses œuvres. C'est ainsi que l'Afrique française nous a montré le prolongement de cette grande formation à Fucoïdes, dont les Apennins et les montagnes orientales de la France nous avaient présenté de si vastes lambeaux, et ce n'est pas sans quelque surprise que l'on a vu sur un point si éloigné l'identité des caractères minéralogiques correspondre à la reproduction des particularités exceptionnelles qui avaient déjà rendu fameux le terrain de macigno et d'albérèse de la Toscane : nous voulons parler des filons métalliques qui, dans la péninsule italienne comme en Afrique, ont pénétré dans ce terme le plus élevé de la formation secondaire.

Cependant, malgré les laborieuses recherches des géologues qui ont pour ainsi dire entamé le continent africain et posé des jalons sur quelques points de sa surface, il reste encore beaucoup à découvrir et beaucoup à faire pour enrichir la science des documents plus complets au moyen desquels on puisse arriver à une formule rigoureuse de classification oryctognostique; mais un grand pas a été fait et il est juste de savoir d'autant plus de gré aux savants qui parcourent l'Afrique des observations qu'ils nous lèguent, qu'on ne pénètre qu'avec les plus grands dangers et à travers mille obstacles dans les régions montagneuses, dont les tribus arabes, généralement hostiles aux Européens, défendent presque toujours l'accès les armes à la main. Je viens à mon tour apporter ma pierre au monument commencé par mes confrères de l'Afrique française, et livrer au jugement des géologues le fruit de quatre mois d'é-

(1) *Études sur les mines*, supplément. Paris, 1846.

tudes faites dans l'empire du Maroc et plus spécialement dans les provinces de Tétuan et de Tanger, dont j'avais la mission d'examiner les gites métallifères. Bien que le temps qu'il m'a été donné de consacrer à cette exploration soit insuffisant pour mettre un observateur, quelque zélé qu'on le suppose, en possession de tous les faits relatifs à la constitution géologique de ce vaste empire, surtout quand on considère qu'en Barbarie on marche constamment dans des contrées dépourvues de routes et sur lesquelles on n'a pas même l'avantage d'être renseigné par des cartes géographiques même mauvaises, contrées, en un mot, où chaque course est une expédition ; cependant la nature de ma mission, l'appui énergique que j'ai trouvé chez les autorités, la sûreté des guides qui m'ont été fournis par les Maures les plus influents, toutes ces circonstances m'ont permis de pénétrer dans le cœur même des tribus les plus farouches et de recueillir sur les montagnes qu'elles occupent les renseignements qui peuvent intéresser la science. Des travaux de recherche que j'ai fait pratiquer sur le filon de cuivre de la vallée de Cuitan et sur celui d'antimoine de Benimzala m'ont aussi singulièrement aidé dans mes études; car, en m'appelant presque journellement sur les districts les plus montagneux de la province de Tétuan, ils me permettaient de constater avec soin la succession des terrains qui se développent depuis la mer jusqu'aux cimes escarpées de Beni-Hassan. Ainsi le sujet de mes études embrasse à peu près tout le littoral, depuis le détroit de Gibraltar jusqu'à la province d'Oran, et la partie du littoral océanique qui s'étend de Tanger à Larache. On comprendra, sans que je sois obligé d'en faire ici la déclaration, que ma relation ne peut donner dans tous ses détails la description des montagnes qui occupent un rayon aussi étendu et qu'elle renfermera par conséquent plus d'une lacune; mais je me suis appliqué à racheter cet inconvénient par de bonnes coupes perpendiculaires et parallèles à l'axe de la chaîne principale et prises sur des points éloignés les uns des autres, de manière à enlacer dans un réseau de coupes la généralité des terrains et à faire servir successivement l'étude de chaque vallée de contrôle à mes observations précédentes. Ce mode d'investigation, peut-être le seul praticable dans des régions habitées par les Arabes, m'a conduit à des résultats généraux dont je peux, sans être taxé de présomption, garantir l'exactitude, car j'ai vu se reproduire dans le même ordre de superposition les divisions que mes premières études m'avaient fait adopter. Je déclare enfin que j'ai apporté d'autant plus de soin et de zèle dans mes explorations, que j'étais le premier géologue qui mît le pied sur le sol

marocain, et que mes recherches, à défaut de tout autre mérite, auraient l'avantage d'étendre jusqu'aux colonnes d'Hercule les notions que nous possédons sur une partie de l'Afrique septentrionale.

CHAPITRE PREMIER. — *Aspect physique de la contrée.*

Quand on jette les yeux sur la carte de l'Afrique, on ne remarque à la première inspection, comme traits dominants de sa partie septentrionale, que les deux grandes chaînes à peu près parallèles du grand et du petit Atlas qui, de Tunis au cap Guer au sud de Mogador d'un côté, et de Tunis à Ceuta de l'autre, la coupent dans la direction de l'E. à l'O., ou pour parler plus exactement du N.-E. au S.-O. Cet alignement, qui est aussi celui des Alpes principales et de la plupart des chaînes montagneuses de l'Espagne, se reproduit au-delà du grand Atlas dans la région Djezoula, dans l'El'hammad, dans le Djebel-Antar et sur la lisière du grand désert de Sahara. Cependant en examinant avec un peu plus d'attention les lignes de faîte et les cours d'eau qui sillonnent l'empire du Maroc, on s'aperçoit bientôt que cette direction générale est contrariée par d'autres systèmes qui coupent l'Atlas sous des angles variables et qui marchent indépendants de la cause qui a donné à l'Afrique son relief actuel : c'est ainsi que la chaîne du petit Atlas commence à subir une inflexion assez brusque dans le voisinage de Mansour (province du Rif), inflexion qui se prolonge en arc de cercle jusqu'aux sommets de la montagne de Djebel-Mousa, où la courbe dessinée s'interrompt brusquement pour former ce fameux promontoire que l'on voit se dresser en face de Tarifa, de la baie d'Algeziras et des montagnes de l'Andalousie, dont il n'est séparé en réalité que par le détroit de Gibraltar. Ainsi des hauteurs de Beni-Btouia à Ceuta les arêtes culminantes se courbent insensiblement vers le nord en parcourant les degrés de la boussole compris entre l'O. et le N. Entre Tétuan et Ceuta l'angle décrit est presque de 90° ; de sorte que cette portion du petit Atlas coupe perpendiculairement la direction générale de la chaîne. A ce système se rattachent plusieurs chaînons parallèles, qui tels que ceux de Djebel-Mezetalsa, Djebel-Marizan, Djebel-Magran, Djebel-Argan, Djebel-Jazga, Djebel-Jechfeten, se détachent des cimes du grand Atlas en poussant leurs ramifications jusqu'au fleuve Oued-Sbou, bien au-delà de Fez ; cette direction N. N. E.-S. S. O. indiquée sur un si grand nombre de points dans l'empire du Maroc et parallèle, comme on le voit, à la chaîne des Pyrénées,

se reproduit dans l'intérieur de l'Afrique et dépasse même le méridien de Tunis. Nous démontrerons plus tard que la cause qui a imprimé à une portion des montagnes africaines cette direction est liée au soulèvement qui disloqua les couches nummulitiques dont le mont Perdu et les Apennins italiens sont en grande partie formés.

Outre ces deux systèmes prédominants, on rencontre aussi quelques chaînes qui, comme le Djebel-Guibeleyn, la Djeniba, l'Aduhara, la Miaibiz, ainsi que le bourrelet qui, dans les provinces de Tanger et de Tétuan, sépare les versants méditerranéens des versants océaniques, s'alignent suivant la direction des Alpes occidentales et se confondent même avec elles. Nous avons eu pareillement occasion de constater d'autres directions moins nettement accusées et qui se rapportent au soulèvement du nord de l'Angleterre, à celui de la côte d'Or et du mont Viso. Dans une esquisse générale de la contrée, nous devons nous borner à ce simple énoncé, nous réservant d'entrer dans de plus longs développements dans la description particulière des terrains. Mais ce qu'il y a de vraiment remarquable dans les résultats obtenus, c'est que ces indications concordent avec l'ordre de succession des formations observées en Europe, et confirment, en en contrôlant l'exactitude, la légitimité des grandes divisions géologiques fondées sur les caractères fournis par les discordances de stratification.

Cette tendance des montagnes de l'empire du Maroc à s'éloigner parallèlement à trois directions principales se soutient avec une remarquable harmonie jusqu'aux cimes du grand Atlas, malgré les croisements, les anastomoses fréquentes des systèmes entre eux et les nombreuses variations dévoilées par la boussole. On conçoit d'ailleurs la difficulté, pour ne pas dire l'impossibilité, d'arriver avec toute la précision désirable à une formule applicable à la généralité des faits exprimés dans une contrée si vaste et dont l'exploitation est hérissée de tant d'obstacles. Toutefois, quelque imparfaites que puissent être les observations des premiers géologues qui pénètrent dans des contrées inconnues, on ne doit point en accueillir avec trop d'indifférence les résultats, surtout lorsque leurs conclusions tendent à généraliser en dehors de l'Europe mieux connue l'application des lois fondamentales dont l'admirable théorie des soulèvements a doté la science.

Abstraction faite du grand Atlas sur lequel nous ne possédons que des documents insuffisants, la portion du Maroc située entre cette grande chaîne et la mer se laisse diviser en trois zones distinctes dont l'aspect, la culture et les caractères d'accidentation

varient suivant la nature et la composition géologique du sol. La première, que nous nommerons la zone littorale, s'étend depuis les côtes jusqu'aux premiers ressauts du petit Atlas dont elle forme les contre-forts septentrionaux : c'est un assemblage de montagnes peu élevées, à formes arrondies et ballonnées, composées de mica-schistes, de phyllades, de grauwackes, d'anagénites, de grès et de conglomérats rougeâtres. La prédominance des couches argileuses et leur alternance avec des bancs d'une consistance médiocre se prête à des désagrégations superficielles, grâce auxquelles les contours des montagnes s'émoussent et se recouvrent d'une couche épaisse de terre végétale sur laquelle les tribus arabes ont établi de préférence leurs cultures et leurs habitations ; cependant, lorsque la désagrégation a respecté des couches puissantes de quartzite intercalées dans les schistes argileux, ces couches se dressent alors comme de grands dykes au-dessus des terrains encaissants, et relèvent par leurs formes plus âpres la monotonie des lignes environnantes. Des exemples d'une pareille disposition se montrent dans les montagnes de Cuitan, entre Sidi-Ali-Riff et Djaritz, dans les plateaux écroulés de Zemzem, entre les fleuves Smir et Nefza (province de Tétuan), dans les environs de Benimzala et sur plusieurs autres points de Beni-Hassan, de Guebara, et d'Orieguan. C'est ordinairement entre les caps formés par les contre-forts expirants du petit Atlas que s'étendent les plaines alluviales dont les parties les plus rapprochées de la mer sont couvertes par des eaux marécageuses, tandis que les portions que leur niveau plus élevé place à l'abri des inondations sont converties en vergers délicieux, vrais jardins des Hespérides où les caroubiers, les grenadiers, les palmiers, les figuiers, les jujubiers, les citroniers et les orangers, confondent leurs fruits et se mêlent à des myrtes odorants, à des lentisques et à des lauriers roses gigantesques.

La seconde zone occupée par les crêtes montagneuses du petit Atlas dessine les traits géologiques les plus saillants et les mieux définis de la contrée, composée exclusivement de grandes masses calcaires : elle se détache à l'horizon en festons découpés de la manière la plus capricieuse dont le profil prête au paysage des lignes du plus haut style. Les cimes du petit Atlas, dont plusieurs retiennent de la neige une grande partie de l'année, reproduisent par l'alignement et la disposition de leurs pics la physionomie majestueuse des montagnes du premier ordre, et elles dominent avec hardiesse les sommités de la première zone qu'elles abritent contre les vents du désert. Dépourvues en général de végétation à cause des débris qui encombrent le lit des ruisseaux et les flancs

des vallées supérieures, ces masses éclairées ne sont pas moins remarquables par la stérilité de leurs pentes que par l'âpreté de leurs formes.

La troisième zone embrasse le vaste espace compris entre le grand et le petit Atlas. A la forme ballonnée des montagnes de la première zone et aux crêtes sourcilleuses de la seconde succèdent des montagnes à contours vagues et mal définis, coupées par des plateaux ondulés et des plaines marécageuses. On dirait une succession sans ordre de coteaux tertiaires perdus entre deux chaînes secondaires. Cette disposition est due à la nature du sol et à la prédominance des couches argileuses délayables dont la décomposition détermine la création de frondrières et de ravins profonds que les eaux creusent et comblent alternativement. Ce remaniement continuel des argiles et la propriété qu'elles possèdent de se répandre en coulant sur les flancs des montagnes ont fini par en masquer les accidents primitifs, en même temps qu'elles ont favorisé le développement d'une végétation vigoureuse sous laquelle la roche vive paraît rarement à nu. Cependant en dirigeant ses observations dans les lits des rivières et des torrents ou sur les falaises des côtes comprises entre Tanger et Larache, par exemple, ou bien sur quelques points intérieurs où la présence de couches solides de grès a protégé les argiles sous-jacentes contre les éboulements, il est facile de distinguer la nature des éléments minéralogiques qui concourent à la formation de ce système, ainsi que leur ordre de succession. Ce sont en général des argiles grisâtres, des calcaires marneux (albérèse) et des grès micacés (macigno) appartenant au terrain à *fucoïdes* et constituant la formation géologique la plus étendue de tout l'empire du Maroc; il paraît en effet se prolonger jusqu'à la base du grand Atlas et envahir une grande portion de l'Afrique septentrionale; il est bien connu en Algérie par les nombreuses difficultés qu'il a présentées à nos armées, soit pour le transport de l'artillerie, soit pour le mouvement des troupes. La troisième zone est la terre labourable par excellence, et elle peut être considérée comme le grenier du Maroc; cependant malgré sa fertilité et la nature du sol si favorable à la production des céréales, il n'y a guère que la centième partie de son étendue qui soit livrée à la culture. Les bas fonds où séjournent les eaux deviennent des marécages, tandis que la presque totalité des montagnes et des coteaux est réduite à l'état de makis, grâce à la coutume qu'ont les Arabes d'abandonner au feu toutes leurs forêts pour les transformer en pâturages.

L'esquisse que nous venons de tracer rapidement de la configu-

ration des montagnes de l'empire du Maroc et de leurs directions principales offre cela de remarquable et de simple en même temps, que les grandes lignes physiques correspondent aux limites naturelles des formations géologiques avec une si grande précision que la première zone est occupée par le terrain de transition, la seconde par les calcaires jurassiques et néocomiens, et la troisième enfin par le terrain à fucoïdes. Grâce à ces divisions, les recherches géologiques dans l'Afrique septentrionale se trouvent singulièrement simplifiées et les traits généraux deviennent plus faciles à saisir et à comparer.

Le géologue, qui a fait du midi de la France l'objet spécial de ses études, ne peut manquer d'être frappé de la ressemblance qui existe entre les montagnes méridionales du département du Var et le littoral marocain, ressemblance que les mêmes accidents oryctognostiques et une végétation à peu près identique rendent encore plus complète. En effet, la grande bande calcaire qui, depuis le col de Tende jusqu'à la vallée du Rhône, compose le rempart protecteur au-dessous duquel s'étendent les coteaux et les plaines fertiles de Toulon, d'Hyères, de Fréjus et de Grasse, représente la chaîne également secondaire du petit Atlas. Les grès bigarrés de l'Estérel, du Puget, de Cuers, de Solliès, de la Valette, retracent, en en reproduisant la physionomie générale, les caractères des grès rouges des provinces du Rif et de Tétuan : enfin les schistes cristallins des Maures et des environs d'Antibes trouvent leurs analogues, et dans une position semblable, dans la zone littorale du Maroc. La découverte que nous avons faite de quelques dépôts de serpentine et de spilite au sein des micaschistes de Ceuta et des grès rouges de la vallée de Cuitan, dépôts si bien développés dans le département du Var, ajoute encore à l'illusion qui complète l'existence dans les deux régions des lauriers roses, des myrtes, des arbousiers, des chênes lièges, des orangers, des agaves américaines et des *cactus opuntia*.

L'ordre que nous suivrons dans la description particulière des terrains que nous avons reconnus dans le Maroc se trouve naturellement indiqué par l'ordre même de leur succession. Cette division chronologique est au surplus en harmonie presque parfaite avec la position relative des zones que nous avons précédemment indiquées.

Le tableau suivant résume les traits généraux des formations et leurs principales subdivisions.

Terrain de transition.	Silurien.	*a.* Schistes cristallins. *b.* Grauwackes et quartzites. *c.* Calcaires fossilifères.
	Dévonien.	*d.* Grès et conglomérats rouges.

Roches ignées. — Granites. — Serpentines. — Spilites. — et Filons métalliques.

Terrains secondaires.	. . . . .	*a.* Jurassique.
	Crétacé. .	*b.* Néocomien. *c.* Grès vert à Nummulites. *d.* Calcaire à *Fucoïdes*.

Terrain tertiaire. . . .	*a.* Lacustre. *b.* Molasse marine. *c.* Lacustre horizontal.
Terrain contemporain. .	*a* Travertins. *b.* Brèches osseuses. *c.* Fer des marais.

La description de chacun de ces terrains trouvera place dans les chapitres suivants.

Chapitre deuxième. — *Terrain de transition.*

Ainsi que nous l'avons exposé dans le chapitre précédent, la première zone, c'est-à-dire le massif montagneux qui s'étend jusqu'à la base du petit Atlas dont elle compose le piédestal, est entièrement envahie par le terrain de transition; il constitue une bande littorale dont le petit diamètre perpendiculaire aux côtes ne dépasse pas en moyenne douze kilomètres. Ce système, dont le maximum de développement s'observe à la pointe occidentale de l'Afrique, dans les montagnes de Djebel-Mousa (montagnes des Singes des Européens), paraît se prolonger sans interruption jusqu'à Tunis, car il a été signalé dans la province du Rif, dans les environs d'Alger, de Bone et de Philippeville.

Le terrain de transition, dans la partie du Maroc que nous avons étudiée, peut se diviser avec netteté en quatre étages distincts, dont chacun, malgré des caractères de famille communs, possède cependant quelques caractères minéralogiques particuliers. La base est formée par des schistes cristallins, dans lesquels on observe tous les passages, depuis le gneiss jusqu'aux schistes argileux; le deuxième étage par des grauwackes noires, des conglomérats quartzeux et des quartzites grisâtres. Le troisième étage se com-

pose de schistes satinés, de puissantes couches de calcaire, de calschistes et de cipolins, dont quelques uns contiennent des *Orthocères*, des *Orthis*, des *Encrines* et des *Trilobites*. Le quatrième étage enfin se compose exclusivement de grès et de conglomérats rouges, dont la puissance et la couleur le distinguent d'une manière tranchée des étages inférieurs.

Ces divisions, que nous invoquons en aide de la classification, n'ont rien de bien absolu en elles-mêmes. Il serait même impossible de tracer des lignes bien précises de séparation, soit à cause du passage insensible qui lie les divers nombres les uns aux autres, soit à cause des altérations qui en ont changé les caractères primitifs, altérations, en définitive, qui ne se sont pas arrêtées à des niveaux constants, mais dont les effets sont naturellement en rapport avec l'intensité des agents métamorphiques eux-mêmes : c'est ainsi que, dans les environs de Ceuta, les calcaires noirs qui dans la vallée de Cuitan contiennent des Encrines et des Orthocères, sont convertis en cipolins, bien que la position des uns et des autres soit identique, et qu'une distance de 25 kilomètres sépare à peine les deux points. Toutefois, ces variations accidentelles ne sauraient effacer entièrement les caractères puisés dans l'ensemble des faits observés et être invoquées contre une équivalence que proclament le passage ménagé d'un calcaire cristallin à un calcaire compacte et la liaison insensible qui unit les termes extrêmes; aussi la présence des calcaires fossilifères ou non au-dessous des grès rouges établit-elle un horizon constant, qui permet non seulement de discuter l'âge de la formation à laquelle ils appartiennent, mais encore d'appliquer aux terrains qui forment la grande bande littorale du nord de l'Afrique les conclusions que l'étude de quelques points classiques nous aura permis de formuler avec certitude.

La base du système général est occupée par des gneiss, des micaschistes et des phyllades satinés, qui se lient les uns aux autres par des passages minéralogiques et se font remarquer autant par la cristallinité de leurs éléments constituants que par la netteté de leur stratification. Les gneiss sont reconnaissables par la plus grande épaisseur de leurs couches, par la blancheur qu'ils empruntent au feldspath, ainsi que par les minéraux accidentels qu'ils contiennent. Ces minéraux sont des tourmalines noires et des grenats rouges trapézoïdaux. Bien que leur prédominance s'observe le plus fréquemment dans les montagnes les plus rapprochées des côtes, cependant ils alternent quelquefois avec les micaschistes, et ce n'est qu'après des oscillations plusieurs fois répétées que ces

derniers se dépouillent complétement du feldspath pour ne retenir que le quartz et le mica. Les micaschistes établissent le passage entre les gneiss et les phyllades.

Tels sont les trois types qui constituent, à proprement parler, la base du terrain de transition de la partie septentrionale du Maroc, et auxquels on peut rapporter les différentes roches qui composent ce qu'on est convenu d'appeler *schistes cristallins*. Aux micaschistes sont quelquefois subordonnées des couches peu puissantes des talschistes argentins, grenatifères, dont l'éclat rend plus sombre encore la couleur foncée des premiers, couleur qui a valu au promontoire situé entre la Bousfika et le Smir la dénomination de Rastorf, que les Espagnols et même les Arabes de la côte ont traduite par celle de *Capo negro*, nom par lequel on le désigne aussi.

Le cap Negro est peut-être le point où les schistes cristallins présentent le plus d'intérêt, autant par la variété des roches que l'on y rencontre que par les filons de granite et de pegmatite qui y sont injectés. Après avoir dépassé les monticules de sables mouvants qui séparent les marais de la plaine de la Bousfika du cordon littoral, on commence à gravir, dans les environs des fermes arabes nommées Gheroura, les premières pentes du promontoire de Rastorf dont les contours, exposés à la fureur des vagues, sont taillés en falaises escarpées, qui seraient inabordables sans la grande quantité de blocs et de cailloux roulés que la mer pousse contre leur base dans ses moments de rage, et sur lesquels on peut s'aventurer comme sur un parapet quand le temps est calme. Un peu au-delà de Gheroura, en se dirigeant vers le N., on aperçoit quelques filons d'une pegmatite schistoïde parallèle à la stratification des micaschistes; mais ils se confondent si intimement avec les couches encaissantes, qu'on ne saurait leur reconnaître encore les caractères de masses éruptives. A mesure qu'on se rapproche du corps-de-garde bâti sur le point le plus avancé dans la mer, les filons deviennent plus abondants, et ils constituent à divers niveaux un système de stokverts, dont les ramifications se déjettent dans tous les sens, sans qu'elles soient assujetties à aucune règle dans leur marche et à aucune constance dans leur puissance. Si la direction du plus grand nombre d'entre elles est parallèle à celle des couches, cette particularité tient principalement à la moindre résistance qu'ont eue à vaincre les dykes granitiques en s'insinuant entre les plans de séparation des couches, mais leur indépendance n'est pas moins dévoilée par la disposition capricieuse des réseaux au milieu desquels se trouvent emprisonnées des portions plus ou

moins considérables de schistes cristallins, que par les caractères spéciaux de leur composition. On y retrouve, en effet, les éléments des granites et des pegmatites les mieux caractérisées. Quelques filons sont même formés par des granites grisâtres porphyroïdes dont les cristaux accidentels de feldspath, généralement maclés, se distinguent du reste de la pâte par une couleur rosée et par le miroitement particulier qui résulte du phénomène de la transposition. Les autres dykes, du moins le plus grand nombre, sont entièrement composés de pegmatites très feldspathiques, blanches, pénétrées de milliers de cristaux de tourmaline noire, dont le volume est très variable, et de grenats rouges trapézoïdaux. La figure dessinée à Gheroura indique très exactement les relations réciproques des filons granitiques avec les terrains qui les renferment; l'épaisseur des plus puissants d'entre eux dépasse 7 mètres (voyez *pl.* X, *fig.* 1).

Pour retrouver les granites en association avec les schistes cristallins, il est indispensable de se transporter dans les régions où les altérations sont les plus profondes, c'est-à-dire vers les régions occupées par les couches les plus anciennes. Or, il n'y a guère que les caps où celles-ci se montrent franchement à découvert : aussi celui de Ceuta, qui se détache sous forme d'une péninsule très étroite du massif de Djebel-Mousa, et qui peut être considéré comme la sentinelle la plus avancée du continent africain, présente-t-il à peu près les mêmes accidents que Rastorf, des mica-schistes et des gneiss traversés par de nombreux filons de granite feldspathique. Les falaises orientales qui s'étendent depuis la *Punta de la Almina* jusqu'à l'îlot *del Moro de la Vina* sont les points les plus convenables pour l'étude de ces faits intéressants. Le cap Ras-ed-Deir, situé au nord de Mélilla, dans la province du Rif, est encore une localité à citer. Comme les zones de terrain comprises entre ces divers caps et le petit Atlas appartiennent pour la plus grande partie à l'étage des grauwackes, au milieu desquelles les granites n'ont point pénétré, il en résulte que la concentration de ces derniers paraît constituer une bande sous-marine dirigée parallèlement aux côtes, et à laquelle se rattacheraient dans la profondeur les filons que l'on remarque dans quelques points du littoral. Cette bande atteindrait, suivant toute vraisemblance, un développement très considérable, puisqu'elle manifesterait son existence jusque dans le Sahel algérien, où, suivant M. Burat, le mont Bouzareah reproduit les mêmes accidents de pénétration de granite que nous avons signalés dans les schistes cristallins des provinces septentrionales du Maroc. Cette supposition, au surplus,

repose moins sur des probabilités imaginaires que sur l'ensemble des faits observés et sur des analogies évidentes. Ainsi, dans des contrées où, comme dans le Forez, dans le Var et l'île d'Elbe, les masses granitiques constituent des centres de soulèvement, on voit ces mêmes masses pousser des filons et des ramifications dans les roches environnantes, et comme l'île d'Elbe est sans contredit la région classique pour ces sortes de phénomènes, il résulte de sa constitution géologique que sa portion septentrionale, dominée par le mont Capana, est exclusivement granitique, tandis que sa portion orientale n'offre que des terrains stratifiés de tous les âges, sillonnés par des veines et des dykes de granites. Si, par un accident particulier, il n'y eût eu que cette dernière mise à découvert par les soulèvements, la masse principale granitique aurait été cachée sous les eaux, et l'île d'Elbe, dans ce cas, eût montré seulement des falaises absolument analogues à celles du Maroc.

C'est à la présence du granite que l'on peut raisonnablement attribuer l'origine métamorphique des gneiss, des micaschistes et des phyllades; le passage insensible des gneiss aux granites et leur plus grande cristallinité vers les lignes de contact donnent la mesure des altérations énergiques dont les couches sédimentaires ont été le théâtre; c'est pareillement à la même roche plutonique que nous lierons l'existence des nombreux filons de quartz amorphe souvent imprégnés de fer oligiste, qui courent dans les micaschistes et qui dans la partie de l'Afrique que nous avons explorée reproduisent dans tous ses détails la théorie des filons embryonnaires que M. Fournet a établie pour les terrains analogues des environs de Lyon. Quelques uns de ces filons nous ont présenté de fort beaux cristaux d'andalousite rose engagés dans un quartz blanc, et associés à des petits nids de lépidolithe écailleuse. La localité qui nous en a offert en plus grande abondance et les plus beaux exemplaires sont les pentes méridionales du Rastorf, que l'on traverse quand on se rend de Tétuan à Ceuta, et qui sont remarquables par l'énorme quantité des fragments de quartz qui proviennent de la décomposition superficielle du terrain dont ils couvrent littéralement la surface. J'ai recueilli ce minéral et dans des positions identiques dans les micaschistes de l'Andalousie, qui se trouvent en face de la province de Tétuan. Depuis longtemps aussi les terrains primaires du Var, et notamment les îles d'Hyères, sont cités comme renfermant abondamment l'andalousite.

Aux phyllades satinées succèdent après quelques oscillations des grauwackes noires fines, des quartzites grisâtres, des conglomérats à éléments siliceux et des schistes argileux, ternes, sou-

vent délayables. Ces diverses roches, qui se montrent à plusieurs niveaux, constituent le second terme du terrain de transition, et ne peuvent guère être considérées que comme les dérivés d'un même type; seulement l'accumulation de cette quantité énorme de matériaux roulés dénote, au moment de leur précipitation, une agitation prolongée dans les mers anciennes, et dont la violence contraste avec la tranquillité avec laquelle les sédiments inférieurs, composés de principes infiniment ténus, se déposaient sous les eaux. Nous croyons superflu d'entrer dans des détails circonstanciés sur leur composition minéralogique, puisque le quartz et le mica, à divers degrés de trituration, sont à peu près les seules substances qui ont concouru à leur formation. Cette description, au surplus, ferait double emploi avec celles qu'on possède déjà des terrains de grauwackes des autres contrées. Les anagénites constituent au milieu des quartzites et des schistes ardoisiers des bancs d'une épaisseur extrême, lesquels, ayant résisté mieux que ces derniers aux influences extérieures, se font remarquer par des ressauts brusques, à formes écroulées, qui se dressent majestueusement au-dessus des roches encaissantes, et dont les contours sont généralement émoussés. Ces espèces de grandes murailles, que l'on voit se continuer quelquefois très au loin, interdisent fréquemment toute communication directe entre des points rapprochés, ou bien elles présentent à celui qui voyage à pied des obstacles qu'il ne lui est pas toujours facile de vaincre. Le sentier de montagne qui conduit de Tétuan aux tribus de l'Angera par le Djebel-Mousa se trouve barré dans le voisinage de la rivière Jounai par des masses imposantes de ces anagénites, que les injures du temps ont découpées en obélisques, et dont les débris épars çà et là sur le sol font naître l'idée de blocs erratiques dispersés sur les flancs des montagnes par un courant énergique.

Il n'est pas rare de voir les anagénites remplacées par des quartzites dont les couches plus distinctes et nettement séparées composent des étages plus réguliers qui constituent une série de plateaux alignés suivant la direction générale des terrains, et coupés de distance en distance par les rivières qui descendent du petit Atlas et suivent les fractures produites par les soulèvements. Le plus remarquable par son faciès et son étendue est, sans contredit, celui qui s'étend entre les fleuves de Smir et de Neiza, et que les Arabes désignent par le nom de Djebel-Zemzem. C'est un plateau allongé dont les deux extrémités s'abaissent graduellement vers les plaines marécageuses de Rastorf et d'Angera, et dont le couronnement se termine par une ligne à peu près horizontale. Le Zem-

zem se détache si hardiment des terrains environnants, que l'on serait tenté de le considérer, à la première inspection, comme un terrain indépendant de celui de transition, tant ses caractères extérieurs revêtent des formes exceptionnelles. Mais en étudiant avec plus d'attention ses relations avec les autres membres de la formation de transition, on constate sa dépendance avec les schistes argileux qui alternent avec lui. On constate de plus son équivalence avec les couches qui, composées ailleurs d'éléments plus volumineux, passent graduellement aux anagénites. Ce système, ou pour mieux dire ce second étage coupe en écharpe la zone littorale, et se montre depuis la montagne des Singes jusque dans les districts les plus orientaux de la province du Rif, aux Benibojesed et aux Benijousech. On peut aussi en observer une bonne coupe dans le fossé qui sépare la ville de Tétuan du cimetière des juifs.

Le troisième étage, dont nous avons à nous occuper en ce moment, est presque exclusivement formé de couches calcaires d'un noir très foncé, schistoïdes à leur base, à cause de leur alternance avec des schistes argileux, et plus compactes à leur partie supérieure. La rencontre que j'y ai faite des *Orthis*, des *Orthocères*, des *Encrines* et de fragments de *Trilobites*, attache à leur histoire une grande importance, parce que ces fossiles, particuliers aux terrains paléozoïques, fournissent un caractère précieux de classification et tracent un horizon bien défini. Ces calcaires acquièrent surtout un développement considérable dans les montagnes de Djaritz, sur les flancs orientaux des colonnes d'Hercule, et principalement dans les tribus des Beniouneus et des Benimzala; seulement, dans cette dernière localité, ils dévoilent une tendance prononcée à devenir saccharoïdes, et sur quelques points même ils sont convertis en cipolins.

On se rend de Tétuan à Djaritz par la vallée de Cuitan. Cuitan est une rivière qui prend sa source dans les cimes du petit Atlas occupées par les Beni-Hassan et qui se jette dans la Bousfika, après avoir reçu les eaux de quelques versants tributaires. Lorsqu'on a dépassé les vergers d'orangers, c'est-à-dire que l'on franchit la première pente de l'Atlas, on commence à rencontrer la roche nue et à marcher sur les schistes argileux et les anagénites que nous avons déjà signalés et décrits. En face de Sidi-Ali-Rifi, village arabe dont le marabout s'élève à votre gauche, on observe sur les rives de Cuitan un système de schistes noirs très feuilletés, vraies ampélites délitables, surmonté de bancs calcaires noirâtres, parfaitement concordants, dont la surface est généralement écrasée par suite d'un principe de décomposition. Il est impossible, à cause

des escarpements perpendiculaires qui se dressent en cet endroit au-dessus de la rivière et interdisent l'accès de ses bords, de pénétrer plus avant dans cette direction et de suivre par conséquent les calcaires dans tout leur développement ; on est obligé de regagner le sentier de montagne qui est tracé dans les grès rouges supérieurs ; mais les environs du village de Djaritz vous dédommagent amplement des contrariétés éprouvées à Cuitan. Comme au-dessus du chemin des Moulins les couches placées au-dessous des grès par suite d'un redressement considérable viennent affleurer à la surface et que les grès se trouvent rejetés en arrière, les calcaires se montrent dans toute leur épaisseur et se laissent étudier avec la plus grande facilité (voyez *fig.* 2). Ce sont à la base des couches argileuses grisâtres qui, se chargeant insensiblement de carbonate de chaux, constituent des calschistes à structure rubannée. Ces calschistes sont bientôt remplacés par des calcaires noirs plus compactes formant des bancs d'une épaisseur variable, et dessinant de distance en distance au-dessus des schistes alternant des saillies parallèles à la direction générale des terrains qui se prolongent et se perdent dans les vallées voisines. La texture de ces calcaires, abstraction faite des portions trop mélangées d'argile, est sub-saccharoïde et légèrement grenue : leur couleur est presque constamment d'un noir foncé et rarement grisâtre. Entre la cascade qui se précipite des montagnes néocomiennes que l'on voit se dresser en face de Djaritz et le bouquet d'oliviers où reposent les restes d'un marabout, on observe sur les pentes les plus rapprochées de la rivière des couches qui sont entièrement pétries de fragments de petits polypiers ramuleux et de fragments d'encrines dont la structure spathique dévoile l'origine et dont l'organisation se montre plus distinctement encore sur les surfaces frustes des blocs épars sur le sol. Elles ressemblent d'une manière si complète soit par leur compacité, par leur couleur foncée, soit par la présence des corps marins qu'elles renferment au marbre des Écaussines connu dans le commerce sous le nom de *petit granite*, qu'il serait difficile de reconnaître, d'après l'examen des échantillons, le lieu de leur provenance. Outre les encrines, ces calcaires nous ont aussi présenté des *Orthocères* et des *Orthis* empâtées dans la roche et fournissant assez difficilement des exemplaires isolés et d'une conservation parfaite. Cependant les caractères de ces deux genres sont trop reconnaissables pour qu'on puisse se méprendre sur la valeur de leur détermination ; la position de ces calcaires au-dessus des anagénites et des schistes micacés jointe à l'existence de fossiles caractéristiques du terrain de transition comme ceux que nous avons

cités, et leur recouvrement par un puissant dépôt de grès et de conglomérats rouges dont la description nous occupera bientôt, et qui, à nos yeux, est l'équivalent du terrain dévonien, suffiraient déjà peut-être pour nous autoriser à les introduire dans les étages siluriens, mais le moindre doute à cet égard doit s'évanouir en présence des débris d'un trilobite que MM. d'Orbigny et Bayle rapportent au genre *Bronteus*.

Des recherches plus minutieuses, entreprises dans les environs de Djaritz, conduiraient, à ne pas en douter, à des résultats du plus haut intérêt sur la distribution géographique des fossiles des terrains anciens. Mais les contrées du Maroc, où les calcaires de transition sont développés, étant placées dans la chaîne montagneuse même de l'Atlas, il n'est pas toujours permis au géologue de diriger ses pas ainsi qu'il l'entendrait. Pour la localité surtout que je cite, j'ai dû m'estimer heureux d'avoir pu la visiter à deux reprises, grâce à l'énergie que j'ai déployée pour châtier la férocité de ses habitants. — Nous ne laisserons point la vallée de Cuitan sans mentionner quelques traces d'anthracite que nous avons eu l'occasion de remarquer au milieu de ces mêmes calcaires noirs, entre Djaritz et les derniers moulins de la vallée. Ce combustible constitue çà et là des nids très irréguliers et dépourvus de toute importance industrielle ; mais c'est un trait de ressemblance et de comparaison de plus qu'il est bon de signaler avec les terrains siluriens de la Bretagne, qui fournissent aussi, comme on le sait, de nombreux exemples de dépôts d'anthracites.

Les calcaires noirs que nous avons vus fossilifères à Djaritz reparaissent à l'extrémité occidentale de l'Afrique, dans le massif de la montagne des Singes, mais avec des caractères un peu différents, quoique dans une position identique. Le système de cette contrée la plus montagneuse de l'Angera est formé exclusivement par les étages des schistes cristallins, des anagénites et des calcaires siluriens. Ces premiers étages très bien développés dans la pointe d'Afrique, au nord de Ceuta, se prolongent sans interruption dans le massif de Beniouneus, se redressent fortement dans la montagne des Singes dont ils constituent les crêtes culminantes et s'abaissent ensuite suivant une charnière anticlinale vers les versants opposés des côtes d'Alcazar, où ils disparaissent sous les dépôts secondaires (voyez *fig.* 3). Lorsqu'on laisse à sa gauche la vallée d'Iounai pour remonter celle de Mzala, on voit superposées aux micaschistes et aux schistes argileux des masses puissantes de cipolins grisâtres à surface raboteuse et rubannée, dont les éléments plus consistants, résistant mieux que les roches concomitantes aux injures du temps,

dessinent des saillies rocheuses que les éboulements ont façonnées en amphithéâtres et taillées en forme de grandes murailles écroulées. Avec les cipolins alternent des schistes argileux ardoisiers, verdâtres ou noirâtres, très fins et satinés, que les eaux imbibent avec la plus grande facilité et au milieu desquels elles creusent des fondrières infranchissables. C'est sur la plate-forme qui s'étend au-dessus du talus formé par ces schistes et dans une position que la nature a admirablement fortifiée, que sont bâties les cabanes éparpillées de la tribu des Benimzala. En suivant le sentier de montagne qui relie le village arabe à des constructions portugaises ruinées, dans le voisinage d'une mine d'antimoine, on traverse le système des calcaires noirs dont le maximum de puissance s'observe principalement au N.-E. de Benimzala et se continue sans interruption jusqu'au-dessus du fort Marocain, dans la vallée de Kénatorr. La couleur de ce calcaire est plus foncée que dans son équivalent de la vallée de Cuitan, mais sa cassure présente un grain moins saccharoïde : il est de plus traversé par de nombreuses veines spathiques pénétrées d'oxyde de fer. Il m'a été impossible d'y découvrir la moindre trace de fossiles : du moins je n'ai pas osé considérer comme tels quelques points miroitants que l'on pourrait à toute rigueur rapporter à des fragments d'encrines. C'est également dans le terrain de transition qu'on exploite dans les environs de Bouzareah et à la pointe Pescade, dans l'Afrique française, comme pierre à chaux et pierre de construction des couches calcaires subordonnées à des micaschistes ; mais, d'après M. Burat, elles y sont dans un état tellement cristallin qu'on n'y a jamais aperçu la moindre trace de fossiles. Les calcaires de Benimzala à leur tour, quoique moins métamorphiques que les calcaires de l'Algérie, passent à un cipolin et établiraient ainsi une espèce de passage entre les couches franchement fossilifères des environs de Djaritz et les marbres saccharoïdes de Bouzareah.

Si la présence des *Orthocères*, des *Orthis* et des *Trilobites* permet de considérer le troisième étage du terrain de transition comme le représentant des couches siluriennes du continent européen, la classification de l'étage supérieur, entièrement composé de grès et de conglomérats rouges, se déduit naturellement du fait même de la superposition. Bien qu'aucun fossile ne puisse nous servir de guide dans cette appréciation, nous n'y rencontrons pas moins l'équivalent du terrain dévonien, l'*Old red sandstone* des Anglais. Cet étage est très bien représenté dans la province de Tétuan, et forme au-dessous des montagnes calcaires du petit Atlas une large bande qui des montagnes de l'Angera se prolonge jusque dans la

province du Rif. Il est d'autant plus reconnaissable qu'il tranche par sa couleur rouge-amarante sur le ton généralement pâle des terrains environnants; on peut en observer de bonnes coupes sous les remparts de Tétuan, et notamment sur les sentiers qui conduisent à Angera; mais pour se rendre compte des rapports intimes qui existent entre ces grès rouges et les autres termes du terrain de transition, il est utile d'étudier la coupe naturelle que présente la rivière d'Oirguan, à l'E. de Tétuan, et dans cette déchirure du petit Atlas qui livre passage aux eaux de la Bousfika En se rendant par cette vallée à la tribu des Benisalah, on traverse successivement les étages des grauwackes et des calcaires noirs que couronnent, au-dessous du village, des couches d'un schiste argileux grisâtre, très fin. Ce schiste alterne à sa partie supérieure avec des marnes et des grès micacés rouges, lesquels, après quelques oscillations, passent successivement à un grès plus grossier, puis à des conglomérats à éléments polygéniques très puissants, et dont le nombre et le volume des matériaux dont ils sont composés dévoilent l'intensité des courants pendant la période de leur formation. Le passage des schistes siluriens aux grès dévoniens et leur parfaite concordance de stratification se soutiennent dans toutes les localités où il devient possible de remarquer leurs points de contact. Le territoire de Benisalah se prête d'autant plus favorablement à cette vérification que les pentes supérieures de la vallée d'Oirguan sont découpées dans toutes les directions par des ravines et des fondrières profondes, dans lesquelles les superpositions se montrent avec toute la netteté désirable. De Benisalah à Djaritz, il existe un sentier qui suit tous les plis du terrain, qui vous fait recouper en écharpe la série des couches dont se compose l'étage dévonien et vous permet en même temps de saisir leurs rapports avec les étages inférieurs et le calcaire néocomien. Cette étude est facilitée par la dénudation et la stérilité des grès, qui se recouvrent difficilement de végétation.

Des grès, des argiles micacées et des conglomérats quartzeux rouges, telles sont les roches qui forment la charpente du terrain dévonien. Cette simplicité de composition nous dispensera d'entrer dans des détails plus étendus sur leur nature minéralogique.

Nous nous bornerons à ajouter que leur coloration, qui constitue un de leurs traits les plus saillants, nous paraît devoir être attribuée à l'apparition, à cette époque, de sources ferrugineuses dont les principes auront imprégné les eaux dévoniennes, de la même manière que, plus tard, certains grès tertiaires du midi de la France ont été agglutinés par des fers hématites dont l'origine,

par le procédé que nous signalons, ne saurait être contestée.

La puissance moyenne que nous attribuons à l'ensemble des étages du terrain de transition se traduit, approximativement du moins, par les chiffres suivants :

Étage des schistes cristallins.	350^{m}
— des grauwackes.	200
— des calcaires siluriens.	120
— des grès dévoniens.	200
Épaisseur totale. . .	870^{m}

Les couches dont nous venons d'esquisser les caractères de composition, ainsi que leur ordre de succession, obéissent à une direction dominante qui est presque exactement N.-S., ainsi qu'on s'en convaincra par les indications ci-dessous transcrites, et que nous avons relevées avec le plus grand soin. Comme malheureusement le littoral marocain est presque totalement désert et que les portions du territoire occupées sont toutes désignées par le nom générique de la tribu qui les habite, il n'est pas toujours aisé de bien préciser les points où les observations ont été recueillies; cependant je me suis attaché à choisir autant que possible ceux qu'un accident particulier pourrait faire retrouver par les géologues qui seraient appelés à visiter les contrées que j'ai parcourues.

Grauwacke fine, avec indices de galène, au-dessous de Benisalah, N. S.

Grès rouge dévonien supportant les calcaires néocomiens, au-dessus de Benisalah, N. S.

Grès rouge dévonien entre *Sidi-Ali-Riffi* et les moulins supérieurs de Cuitan, au dessus de la rivière, N. S.

Grès rouge dévonien, à la mine de cuivre de Cuitan (berge gauche), N. S.

Grès rouge à Ouadasken, à l'O. de Benisalah, N. S.

Calcaire à Encrines et à Orthocères de Djaritz, entre sa cascade et le marabout, N. S.

Micaschistes dans la vallée de Kénatorr, voisinage de la mine d'antimoine, N. S.

Phyllades entre les fleuves Smir et Vetza sur la côte, N. S.

Anagénites sous le cimetière des juifs, près de Tétuan, N. S.

Schistes et calcaires noirs dans le voisinage de la mine d'antimoine de Benimzala, N. 3° O., S. 3° E.

Grès rouge à Ouedsegera, tribu de Kellallinn, N. 6° O., S. 6° E.

Conglomérats rouges entre Cuitan et Djaritz, N. 8° O., S. 8° E.

Micaschistes de Rastorf, à la Vigie, N. 3° E., S. 3° O.

Grauwacke dans l'Oirguan, N. 5° E., S. 5° O.

Schistes ardoisiers au-dessous de Benimzala, N. 7° E., S. 7° E.

Schiste argileux de Djebel-Mousa (colonne d'Hercule), N. 3° O., S. 3° E.

Grauwacke d'Angera, N. 8° O., S. 8° E.

Quartzites de Djebel-Zemzem, N. 13° O., S. 13° E.

Les deux dernières indications sont celles qui présentent les angles de plus grand écartement; mais on voit que les variations extrêmes ne s'éloignent pas sensiblement de la direction dominante; que la moyenne des indications précitées trace N. 1° 3′ O., S. 1° 3′ E. J'aurais pu insérer un plus grand nombre de citations, mais comme elles oscillent entre les limites de 13° à l'O. et de 8° à l'E. de la direction N. S., je me suis dispensé d'en surcharger mon travail, car elle n'aurait exercé qu'une influence insignifiante sur les résultats obtenus.

Le redressement du terrain de transition du Maroc est lié par conséquent à la catastrophe qui a disloqué le nord de l'Angleterre et dont les effets se sont propagés jusque dans le département du Var, ainsi que dans les îles de la Corse et de la Sardaigne. Il est juste de dire que l'absence du terrain houiller dans l'Afrique septentrionale enlève à cette déduction, tirée seulement de la direction des couches, ce cachet irrécusable de vérité que présentent les contrées où le terrain carbonifère est développé. Ce caractère cependant offre assez d'éléments rigoureux d'appréciation pour justifier notre opinion, surtout quand on réfléchit que les grès houillers constituent pour ainsi dire une formation exceptionnelle, et que les dislocations que le globe a éprouvées après leur dépôt a dû affecter plus spécialement les terrains de transition, dont une portion presque insignifiante était seule recouverte à l'époque du troisième soulèvement. Quoi qu'il en soit, la première zone, que nous avons nommée la zone littorale, était émergée au moment où le terrain jurassique est venu s'appuyer transgressivement sur elle; car le massif de Djebel-Mousa forme non seulement un promontoire naturel à l'extrémité de l'Afrique, mais aussi, par rapport aux formations secondaires, un promontoire géologique qu'elles n'ont jamais pu franchir et qui limite, au N.-O. d'Angera, les points que la mer sous laquelle elles se déposaient a atteints.

M. Sedgwick a rattaché le soulèvement du nord de l'Angleterre à l'apparition des *toadstone* et des *windstone*, dont les dykes ont pénétré dans les bassins houillers du Cumberland et du Derbyshire.

Nous avons eu le bonheur aussi de découvrir dans les grès dévoniens de la province de Tétuan des dépôts de spilite qui, avec la concordance de direction, constituent un nouveau point de rapprochement du plus haut intérêt. Le seul gisement que nous ayons eu l'occasion d'étudier se trouve dans la vallée de Cuitan, sur les escarpements d'une gorge que l'on nomme Darh-Marroht, et qui débouche sur le chemin de jonction entre les deux tribus de Djaritz et de *Sidi-Ali-Riffi*. Les premières indications me furent fournies par des Arabes de la contrée, qui, considérant ces roches, ordinairement ferrugineuses à la surface, comme des minerais dont ils espéraient tirer un parti avantageux, consentirent à me guider sur les lieux de leur provenance. Le vallon étranglé de Darh-Marroht est entièrement creusé dans les grès dévoniens; cependant les montagnes qui le dominent presque immédiatement vers le N.-O. appartiennent à l'étage des grauwackes et des schistes argileux. Après avoir remonté une demi-heure à peu près le lit du torrent, on commence à rencontrer quelques fragments de spilite, dont les traînées, de plus en plus abondantes, mènent sur les points même dont ils ont été détachés. Les dépôts de cette roche pyrogène consistent en plusieurs dykes parallèles qui surgissent de distance en distance au-dessus des grès rouges, et s'alignent suivant la direction S.-E. N.-O., en recoupant ceux-ci sous un angle de 45° environ. Le plus puissant de ces dykes ne dépasse pas la mesure de 7 mètres.

Il est plus facile de se rendre compte sur place de la manière d'être de ces singulières roches désignées sous le nom de *trapp*, de *spilite*, d'*amygdaloïde*, que de définir bien exactement leur composition minéralogique. Les spilites de Cuitan, comme leurs analogues de l'Écosse, du Var et d'Oberstein, sont le plus communément des roches à structure terreuse ou finement cristalline, à odeur argileuse, de couleur grisâtre ou vert-bouteille, mais passant au brun ocracé par un commencement d'altération et renfermant des noyaux de diverse nature, parmi lesquels dominent le carbonate de chaux, le quartz et la calcédoine. Il existe aussi, associé à ces substances, un minéral particulier à clivage rhomboïdal miroitant, composé de lamelles très minces et offrant, sinon la forme et la composition, du moins une partie des caractères extérieurs des micas. Lorsque les vacuoles sont vides, leur surface interne se revêt d'une pellicule verdâtre dont la ressemblance avec la terre de Vérone est grande. Ces spilites jouissent aussi, par suite des félures produites par le retrait, de la propriété de se débiter en fragments polyédriques qui, sous le moindre choc, se décomposent

en nouveaux polyèdres plus petits, ce qui permet rarement d'obtenir une cassure fraîche.

La gorge de Darh-Marroht n'est point la seule localité où soient représentées les spilites. Mais il m'a été impossible de visiter les autres régions des montagnes du Cuitan, dont des Arabes m'avaient montré des échantillons; le prix exagéré qu'ils exigeaient pour me livrer le secret de leur gisement m'a dû faire renoncer au désir que j'avais de les étudier. Toutefois, en réfléchissant que je ne devais qu'à des promesses, accompagnées de la menace de les faire bâtonner par l'autorité, l'avantage d'avoir été conduit sur les spilites de Cuitan, je pensai que l'examen des autres points ajouterait peu aux notions que je possédais déjà et qu'il suffirait d'indiquer le groupe montagneux qui les renfermait pour qu'on pût en déduire les conséquences naturelles.

L'intérêt qui s'attache aux montagnes du Cuitan, dont l'ensemble nous a déjà offert un faisceau de faits si importants, s'accroît encore par l'abondance de leurs gîtes métallifères et par la connexion que ces gîtes ont avec les roches éruptives que nous venons de signaler. Ils consistent en général en des filons-fentes enclavés au milieu des grauwackes et plus abondamment dans les grès dévoniens. Le plus important d'entre eux n'est distant des spilites que de 11 à 1,200 mètres, et, comme elles, il se dirige exactement S.-E. N.-O., tandis que les grès encaissants courent N.-S. plein. Les gangues se composent d'un quartz calcédonien très tenace, de baryte sulfatée laminaire et de fer spathique, dont des géodes renferment des rhomboèdres parfaits. Elles accompagnent le cuivre pyriteux et quelques mouches de galène argentifère. Le toit et le mur présentent ces plaques polies et striées que les mineurs désignent par le nom de *miroirs;* les stries sont parallèles et se dirigent E.-O. en faisant un angle de 55° avec la direction du filon, et elles se sont imprimées autant sur les grès que sur les conglomérats quartzeux : or, le burinage de roches aussi dures suppose un frottement dont nous pouvons nous former difficilement une idée.

A l'ouest de Darh-Marroht il existe aussi un filon de cuivre moins important que celui de Cuitan, sous le point de vue industriel, mais qui lui ressemble par sa direction et par ses caractères minéralogiques. Dans le prolongement des montagnes de Cuitan, sur le territoire de la tribu de Benisalah, j'ai eu occasion d'examiner plusieurs indices de filons de plomb argentifère et de fahlers dont la position et le voisinage semblent les rattacher également à l'apparition des porphyres pyroxéniques, et il en est ainsi des gîtes métallifères de Kellallinn, dans la vallée de la Bousfika, et de beau-

coup d'autres qui s'éparpillent dans les contrées environnantes et qui aboutissent à un centre commun d'émission qui est aussi celui des spilites.

J'ai profité de mon séjour en Espagne pour comparer les terrains du littoral avec ceux qui leur sont opposés sur le continent africain. Les environs de Malaga, d'Almeria m'ont offert des points de ressemblance bien frappants, et les gîtes métallifères que l'on exploite sur les côtes de l'Andalousie sont à leur tour en connexion avec de nombreux épanchements de diorite et de spilite. Comme les formations secondaires qui succèdent aux terrains de transition dans le Maroc sont totalement privées de roches ignées et de filons, il serait prématuré de vouloir préciser l'époque géologique à laquelle les spilites sont arrivées au jour. Mais n'est-il point déjà intéressant pour la science que l'on soit enfin parvenu à découvrir dans une contrée si énergiquement accidentée et où les filons sont si abondants les produits plutoniques dans lesquels il est permis de deviner la cause de leur remplissage, et en même temps la cause soulevante de la chaîne, surtout quand on considère que de pareils produits n'ont point encore été signalés dans la composition de l'Algérie beaucoup mieux connue? Cette découverte inattendue, et qui en promet de plus importantes lorsque ces régions barbares seront explorées avec plus de soin, détruit ces lois d'exception que l'on serait tenté de proclamer d'après une inspection imparfaite, de l'absence complète des roches ignées dans une surface aussi développée que celle de l'Afrique septentrionale. Il m'a été rapporté des environs de Maroc par le Maure Abouderba, qui habite en ce moment Tétuan, des échantillons de granites et de porphyre rouge recueillis dans le lit d'une rivière qui descend du grand Atlas, et qui certainement se retrouvent en place dans cette chaîne; il ne faut, par conséquent, que des occasions favorables pour nous mettre en possession de faits plus complets sur la composition de l'Afrique, et nous y montrer la reproduction de ces grands traits géologiques dont la physionomie a été saisie si heureusement en Europe.

Outre les spilites, la zone littorale renferme encore dans la presqu'île de Ceuta un dépôt de serpentine enclavé dans les micaschistes, et qui pousse des ramifications que l'on a recoupées dans un puits de recherches ouvert sur le bord de la mer, entre la ville et la citadelle. Ce que cette ramification offre de vraiment remarquable, c'est qu'elle est pénétrée de cuivre pyriteux, dont l'abondance paraît augmenter en raison de la profondeur. Si cette fécondation progressive se vérifiait, elle fournirait un nouvel argu-

ment en faveur de la richesse métallifère de la serpentine, qui est en Toscane le siège par excellence des minerais de cuivre, et donne lieu à des exploitations de la plus haute importance. La serpentine constitue à la pointe de l'*Almina* un dépôt assez puissant, que la mer bat en brèche et qui se présente sous forme d'une vaste calotte sphérique. Les variétés que l'on y remarque tiennent plutôt à des accidents de texture qu'à la combinaison de plusieurs substances minérales; elles consistent en des serpentines brunes, unies, fouettées de veines jaunâtres, sèches au toucher, et en des serpentines onctueuses passant à la stéatite. On peut dire qu'elles sont surtout caractérisées par l'absence du diallage : du moins je n'ai remarqué ce minéral que dans un fragment qu'on avait retiré d'une galerie d'allongement et qui provenait de la ramification déjà indiquée. On a ouvert dans cette roche une carrière d'où on a extrait quelques pierres d'ornement pour la décoration des églises et les façades des édifices publics. Les cailloux que la mer use sur les côtes sont employés au pavage des rues, et comme ils sont associés à des cailloux de pegmatite d'une blancheur irréprochable, on a profité de ce contraste de couleur pour confectionner sur les places et dans les rues principales des mosaïques d'un nouveau genre, avec lesquelles on a représenté des vases et des fleurs grossièrement dessinées. On ne saurait mieux comparer les serpentines de Ceuta qu'à celles du département du Var, qui reposent également au milieu des schistes cristallins, sans qu'il soit possible d'être renseigné d'une manière satisfaisante sur leur histoire et surtout sur l'époque de leur apparition. Toutefois leur voisinage, à Ceuta, d'une mine de cuivre et de mispikel sur laquelle on a entrepris quelques travaux, est une circonstance intéressante à relever et qui dévoile l'influence que les porphyres magnésiens ont dû exercer dans le remplissage des fentes. La rencontre inattendue que l'on a faite d'un dyke serpentineux cuprifère au contact du gîte arsénifère serait de nature à changer complétement les éléments jusqu'ici précaires de l'exploitation primitive, si les exploitants attachent à ce fait l'importance qu'il paraît mériter.

Doit-on attacher à ces roches éruptives les nombreux filons d'antimoine que les schistes cristallins et les étages supérieurs du terrain de transition renferment dans leur voisinage, ou bien leur présence se lie-t-elle à une cause plus générale? Il serait téméraire de vouloir résoudre ces hautes questions théoriques d'après le petit nombre de documents que j'ai pu recueillir, bien que j'aie cherché à en rassembler le plus possible. Pour que les conclusions auxquelles on serait amené eussent une valeur scientifique, il eût

fallu visiter en détail les districts métallifères du Rif, lesquels, si on ajoute foi à tout ce que m'en ont raconté les Rifains qui fréquentent les marchés de Tétuan, renfermeraient des mines si nombreuses et si productives de cuivre, de plomb et de fer, que des tribus entières, et surtout celles des Benijousech, seraient exclusivement abandonnées à leur exploitation et au traitement des minerais extraits. Ce qu'il y a de positif, c'est que les Arabes du Rif fabriquent du fer excellent, et qu'ils exportent des alquifous et des pains de cuivre et de plomb qu'ils obtiennent sans doute par des procédés routiniers. A défaut donc de renseignements plus complets et d'observations générales dont l'expression pourrait conduire à une formule rationnelle, nous nous contenterons d'exposer avec réserve notre opinion ; mais en prenant en considération la présence du cuivre dans les serpentines de Ceuta, et en nous laissant guider par les lois de l'analogie, il nous semble qu'on peut raisonnablement leur attribuer en Afrique le même rôle qu'elles ont exercé dans les contrées où l'on a constaté leurs relations directes avec des centres métallifères, et voir dans l'apparition des unes et le remplissage des autres des phénomènes connexes.

Quoi qu'il en soit, les gîtes les plus importants d'antimoine sont ceux de Benimzala et de Kénatorr : ils reposent l'un et l'autre dans le calcaire silurien, et ils ne diffèrent guère que par leur puissance et l'abondance relative de leur gangue quartzeuse. Le filon de Benimzala a pénétré dans les premiers contre-forts de la vallée de la Mzala et se présente avec une épaisseur de 55 centimètres environ. Le minerai et le quartz, comme si une espèce de répulsion s'était manifestée au moment de leur cristallisation, forment deux bandes juxtaposées, mais réellement tranchées. Ce rubanement paraît exister d'une manière constante, car il se reproduit dans deux points d'attaque fouillés par les Portugais à l'époque de leur occupation de Ceuta et de ses environs. La direction du filon est N.-S. inclinant à l'E., tandis que les calcaires encaissants courent N. 3° O., S. 3° E. L'antimoine sulfuré y est d'une compacité remarquable, et ce n'est guère que vers le plan de contact avec la gangue qu'il se trouve mélangé de quartz.

Les affleurements que l'on remarque dans la vallée Kénatorr, au N. O. du premier filon dont ils sont distants de trois kilomètres à peu près, s'annoncent par masses de quartz blanchâtres amorphes, de la puissance de deux mètres au moins et, pénétrées de sulfure d'antimoine grenu. Ces masses se reproduisent des deux côtés de la vallée et au même niveau, mais elles plongent chacune dans un sens opposé. Cette disposition est celle même de la vallée qui

est une vallée d'écartement, dont la rivière peut être considérée comme l'axe. Leur direction diffère sensiblement de celle du filon de Bénimzala; elle est S.-O., N.-E.; cependant la ressemblance frappante des minerais et de la gangue dans l'un et dans l'autre gisement ne permettent guère de classer tous les filons antimonifères que dans une seule et même catégorie. J'ai pu me convaincre par des échantillons que l'on m'avait rapportés, que le massif de Beniouneus renfermait d'autres dépôts d'antimoine; mais n'ayant pas eu la faculté de les étudier, je ne les citerai ici que pour mémoire.

Avant de terminer ce que j'avais à dire sur le terrain de transition, je ferai remarquer que la concentration des filons dans la province de Tétuan constitue deux groupes bien distincts, dont l'un circonscrit le gisement des serpentines et l'autre le gisement des spilites. Le premier comprend les minerais d'antimoine, le second les minerais de cuivre; nous ne pousserons pas au-delà de ces rapprochements les déductions que nous serions peut-être en droit d'en tirer, afin de faire accepter nos idées avec moins de défiance.

Nous ne sachions point que le terrain de transition représenté dans tous les étages ait jamais été signalé en Afrique. L'Algérie n'a montré jusqu'ici que des schistes cristallins et des grauwackes. La présence, par conséquent, des calcaires à orthocères et des grès dévoniens donne au Tétuanais une importance incontestable et permet de transporter au-dehors du continent européen la limite des mers paléozoïques, dont les dépôts les plus rapprochés de l'Afrique ne dépassaient pas le méridien de la Sardaigne et la chaîne des Pyrénées. Il y a plus: la description des terrains de transition de l'Angleterre offre avec ceux du Maroc un si grand nombre de faits identiques, que leur comparaison mutuelle seule met en lumière l'unité de plan qui a présidé à leur formation. Si ensuite aux caractères tirés de la superposition et de l'examen des fossiles on joint les données fournies par le parallélisme des directions, par le remplissage des filons et par l'analogie des roches éruptives dans les deux régions, on sera amené naturellement à reconnaître dans les traits généraux de leur physionomie le cachet irrécusable d'une origine commune et à proclamer leur contemporanéité.

CHAPITRE TROISIÈME. — *Terrain jurassique.*

Si dans le nord de l'Europe et principalement en Angleterre et

dans la France septentrionale la conservation des fossiles et leur rigoureuse distribution dans le sein des couches ont permis de diviser cette formation en plusieurs étages distincts, cette facilité de classification ne s'est point maintenue avec autant de netteté pour les terrains jurassiques du midi et du sud de la France, où les divisions générales se soutiennent assez bien jusqu'à l'oxford-clay, sans qu'il soit possible de distinguer dans les calcaires rubanés qui recouvrent cet étage les subdivisions que l'on a établies dans les parties supérieures. Cependant les fossiles caractéristiques de l'argile oxfordienne tracent jusqu'à cette limite un horizon bien défini et forcent d'admettre pour les couches calcaires superposées un équivalent avec le coral-rag et le portlandien ; mais ce caractère s'affaiblit en Italie à un point que pendant longtemps on a nié l'existence du terrain jurassique, ou du moins on limitait son représentant à un coin du golfe de la Spezia, où la rencontre d'ammonites et de bélemnites avait obligé les géologues italiens d'arracher ce lambeau au terrain crétacé dont on supposait la péninsule exclusivement formée. Les observations ultérieures ont détruit cet état de choses et les écrits récents de divers auteurs et les miens ont démontré que les formations calcaires que l'on remarque au-dessous du macigno et de l'albérèse appartiennent en général au terrain jurassique. Il existe encore quelque divergence, il est vrai, dans les opinions des auteurs relativement au classement des étages qu'ils ont reconnus et décrits, mais cette divergence tient principalement à la rareté des fossiles et au mauvais emploi qu'on a su en faire. On a préféré alors recourir aux caractères minéralogiques qui malheureusement n'ont pas l'avantage comme les fossiles de fournir un élément fixe de classification. C'est ainsi que les calcaires rouges ammonitifères eux-mêmes, malgré le secours précieux qu'ils ont fourni pour la description de plusieurs localités, ont prêté à la confusion pour d'autres : et la raison en est facile à saisir. M. de Buch a fait remarquer que dans le nord de l'Italie, et l'on peut y ajouter l'Italie centrale, la couleur rouge caractérise la formation jurassique tout entière comme la couleur noire caractérise celle des Alpes et du midi de la France. Les auteurs qui ont écrit sur les terrains de la Péninsule, trompés par les caractères minéralogiques qu'ils ont employés exclusivement sans tenir compte des fossiles, ont confondu le plus souvent plusieurs étages distincts ou établi des divisions dont la détermination rigoureuse des débris organiques a démontré le peu d'exactitude : d'où les incohérences et les rétractations nombreuses que l'on remarque dans les écrits de savants très estimables d'ailleurs,

mais que les observations ultérieures ont fait disparaître en grande partie (1).

Si des contrées explorées par des géologues habiles n'ont pu être encore classées d'une manière uniforme, il faudra moins s'étonner que sur une surface si étendue que le continent africain, sur lequel abordent si rarement des géologues, il ne soit pas toujours possible de recueillir un assez grand nombre de documents pour apprécier toutes les circonstances qui se réfèrent à la composition ou à la position d'un terrain. Or cette difficulté se présente dans le Maroc pour la description du terrain jurassique que je n'ai eu la fortune de rencontrer que dans les environs de Tétuan, soit que le hasard ne m'ait pas conduit sur d'autres gisements, soit qu'en réalité la formation qui nous occupe soit très peu développée dans le Maroc, opinion vers laquelle je pencherais de préférence; car j'ai eu l'occasion de parcourir assez fréquemment dans tous les sens les grands centres calcaires depuis le Rif jusqu'aux colonnes d'Hercule pour penser que j'eusse rencontré plus d'un lambeau jurassique, si le jurassique eût formé presque constamment le piédestal des montagnes néocomiennes comme on l'observe dans les Pyrénées et dans la Provence. Cependant l'indépendance des calcaires néocomiens et la constance de leurs caractères minéralogiques fournissent, ainsi que nous le verrons plus tard, deux moyens faciles de les distinguer des autres formations géologiques.

---

(1) M. Pilla qui, dans un travail précédent (*Saggio sopra i terreni che compongono il suolo dell' Italia*), avait placé les calcaires rouges dans la partie supérieure de la formation jurassique, vient d'en faire la base de cette même formation dans un mémoire publié récemment. Cette concession, déjà très importante et que la position bien connue de la majolica rendait indispensable, est cependant insuffisante. M. Pilla, en n'accordant pas à la détermination et à la distribution des fossiles au sein des couches la valeur qu'elles ont en Italie comme ailleurs, et en considérant ces calcaires rouges comme une seule et même chose, confond deux étages distincts, un étage évidemment liasique, caractérisé par les *Ammonites Walcotii*, *heterophyllus*, etc., et un étage jurassique moyen, caractérisé par l'*Ammonites tatricus* et la *Terebratula diphya*. Ces divers fossiles se trouvent bien à la vérité dans une même coupe, mais jamais dans une même couche; toutefois il est juste de remarquer que les modifications que les savants italiens font subir à leurs idées, sont constamment amenées par les progrès de la paléontologie, et qu'à mesure que cette branche si importante de la géologie est mieux étudiée, les opinions de l'école française finissent par triompher des hésitations qui se manifestent encore chez quelques auteurs.

En effet, depuis Ceuta jusque dans le Rif, c'est-à-dire jusque dans la province d'Oran, on les voit reposer indifféremment au-dessus de tous les termes du terrain de transition que nous avons déjà décrit; mais dans le district d'Angera se développe un système calcaire d'une épaisseur considérable, qui constitue non seulement la base de la seconde zone, mais encore jusqu'à la vallée de la Bousfika, au S.-E. de Tétuan, les montagnes indépendantes de Djebel-Dersah, sur les revers occidentaux des Beni-Hassan, des Ouadras et des Benidères, montagnes qui s'abaissent dans la direction de Fez et disparaissent sur la route de Tanger sous le terrain à *fucoïdes*. Néanmoins quelques îlots, pointant de distance en distance sur divers points qui n'ont pas été découverts, tendent à démontrer que dans l'intérieur du Maroc et en dehors de la chaîne principale, elles sont la base sur laquelle se sont appuyées les formations plus récentes.

En se laissant guider par les caractères minéralogiques, qui varient suivant l'ordre de superposition, le terrain jurassique se divise en quatre étages distincts qui sont, en partant de bas en haut, 1° l'étage marneux, 2° l'étage des dolomies, 3° l'étage des calcaires gris, à odeur de pétrole, 4° enfin l'étage des calcaires lithographiques avec silex pyromaques (voyez *fig.* 6).

Nous en examinerons successivement la composition.

Du cimetière des juifs, au N. de Tétuan, jusqu'au fleuve Smir, qui sépare le Djebel-Dersah de l'Angera et le terrain jurassique des calcaires néocomiens, on remarque, reposant au-dessus des phyllades ou des grès rouges, qui appartiennent au terrain de transition, un ensemble de marnes et d'argiles rougeâtres, grisâtres et verdâtres, alternant avec quelques couches de dolomies minces et contournées. Les dolomies prennent, à mesure qu'on s'élève, un développement progressif, et elles finissent bientôt par s'affranchir des argiles bariolées que l'on voit constamment confinées à la partie inférieure du terrain jurassique. Comme le versant oriental de la chaîne littorale, et principalement la seconde zone, est occupé vers son axe culminant par des pentes roides et escarpées, on a profité de la facilité avec laquelle les argiles se désagrégent pour y tracer les sentiers qui mettent en communication les tribus de cette partie du Maroc avec Tétuan, et, d'un autre côté, comme le passage continuel des hommes et des chevaux les creuse profondément, ces sentiers se convertissent à la longue en des torrents dont les escarpements montrent la succession des couches qui les composent. Leur épaisseur ne dépasse pas une douzaine de mètres; aussi représentent-elles plutôt un

commencement de formation établie aux dépens de la surface balayée d'un terrain plus ancien qu'un véritable étage, et cette présomption est confirmée par la première des dolomies que l'on voit pénétrer au milieu d'elles, particularité qui, jointe à quelques lits de gypse séléniteux que l'on observe çà et là, donne à l'ensemble l'apparence des marnes irisées de l'Europe.

Aux argiles bariolées succèdent les dolomies, système dont la puissance dépasse une centaine de mètres, et qui est composé en général de couches épaisses, que l'on reconnaît même de loin à leur surface rugueuse, déchiquetée, et entièrement dépourvue de végétation, si l'on excepte toutefois les bouquets de *cactus opuntia*, que l'on conserve dans l'espace laissé libre entre le mur d'enceinte de la ville de Tétuan et les habitations. Leur couleur, ordinairement foncée, varie du grisâtre au blanchâtre ; leur grain, serré et finement saccharoïde, présente ce miroitement particulier aux dolomies ; elles alternent à leur partie inférieure avec des calcaires noirs, fouettés de veines blanches, et à divers niveaux avec des marnes grisâtres très schisteuses, sans offrir d'autre particularité saillante.

Des calcaires brunâtres, à cassures esquilleuses et compactes, constituent le troisième étage. Leur stratification est plus distincte que dans les dolomies, et au-dessous même de Tétuan on les voit s'élever sous forme de bancs gigantesques. Cette différence d'aspect, qui à elle seule distingue les calcaires magnésiens de ceux qui ne le sont pas, tient à la propriété que possèdent ceux-ci de s'égrener au contact de l'air et de montrer des surfaces bosselées et inégales, tandis que les autres, dont la structure est plus serrée, résistent davantage aux injures atmosphériques et prennent un relief plus régulier : ce sont ces calcaires que l'on foule le plus communément entre Tétuan et Angera, parce que le sentier de montagne taille en écharpe les flancs de Djebel-Dersah, et qu'il est tracé à peu près dans le sens de la direction des couches; on est alors dominé par les calcaires à silex, tandis qu'on a au-dessous de soi les dolomies et les marnes bariolées. Cet étage admet rarement des couches subordonnées de schistes ou de marnes; seulement, par place, on remarque quelques bancs marneux à cassure terne et à structure feuilletée, lesquels sont traversés dans tous les sens par des félures où s'est infiltrée une substance noire bitumineuse qui possède les caractères du pétrole. Ces fissures sont rarement bâillantes; on dirait qu'elles ont été produites à la manière de ces gerçures qu'engendre dans certaines roches leur exposition à la chaleur d'un fourneau, et qu'on appelle alors roches éton-

nées. Exposés à un feu modéré, les calcaires se dépouillent de leur principe colorant, et fournissent la plus grande partie des matériaux avec lesquels on fabrique la chaux, dont les Arabes font une consommation si considérable. Les dolomies exhalent aussi par le frottement ou par la percussion une odeur si prononcée de pétrole, que le Maure qui m'accompagnait ne doutait pas que par le temps la montagne entière ne finît par se convertir en charbon de pierre. C'est une odeur à peu près analogue que donnent les calcaires lacustres tertiaires. L'épaisseur de cet étage peut être évalué à 200 mètres environ.

Les descriptions que nous possédons sur la fameuse *majolica* de l'Italie s'appliquent avec tant de vérité aux calcaires qui couronnent le terrain jurassique de l'empire du Maroc, que nous pourrions à toute rigueur nous dispenser de nous étendre ici sur leurs caractères minéralogiques. Ce sont les mêmes calcaires jaunâtres, verdâtres et grisâtres, à cassure lithographique, alternant de distance en distance avec des lits d'un schiste argileux olivâtre qui se délite, mais sans se déliter en petites baguettes perpendiculaires au sens des couches, et constituant, en un mot, les *galestri* de même nature que l'on rencontre dans le jurassique italien. La ressemblance est complétée par la présence de nodules et de plaques interrompues de silex blond engagés au milieu des couches dont ils suivent et indiquent la stratification. Cet étage, dont la puissance ne dépasse pas une centaine de mètres, est remarquable par l'uniformité de ses caractères et par le rubanement de ses couches, qui en forment peut-être le trait le plus saillant. J'y ai recherché avec beaucoup d'attention, mais vainement, quelque fossile qui me permît de saisir, dans cette succession interminable des calcaires, des preuves plus incontestables d'équivalence avec leurs analogues de la péninsule italienne; je suis parvenu seulement à distinguer sur les surfaces usées des coupes de coquilles qui se rapportent à des Térébratules indéterminables; cependant je ne doute pas que des investigations plus minutieuses poursuivies avec persévérance ne mettent sur la voie de quelque découverte de ce genre; on a tout lieu de l'espérer quand on considère la nature non-métamorphique des étages placés au-dessus des dolomies. Relativement à l'origine de ces dernières, il serait téméraire de hasarder quelque conjecture sur l'époque de la transformation et sur la nature des agents qui l'ont opérée. Doit-on la rapporter aux dykes de spilite que nous avons signalés dans la vallée de Cuitan, ou bien à une de ces causes générales qui, à divers âges du monde, ont agi avec énergie, et dolomitisé, là où

leur action s'est fait sentir, les couches calcaires de toutes les formations, depuis les plus anciennes jusqu'aux tertiaires? La discussion d'une pareille question n'attacherait pas un grand intérêt à une thèse déjà tant débattue, et nous nous contenterons d'enregistrer le fait sans nous livrer à d'autres commentaires; cependant nous ne pouvons nous dispenser de faire ressortir ici la ressemblance frappante du terrain jurassique de Djebel-Dersah avec celui de l'Italie, qui, à part la couleur rouge qui prédomine au-dessous de la *majolica*, offre une composition à peu près analogue; la couleur rouge même est loin de constituer un caractère constant; car dans le promontoire du cap Argentaro, dans les vallées jurassiques du Tafone et sur les confins de la Toscane et des États de l'Eglise, les calcaires rouges ou leurs équivalents ont été transformés en grande partie en dolomies, sans présenter aucune de ces Ammonites ou de ces Encrines qu'il n'est pas rare de recueillir sur d'autres points voisins, dans les couches qui n'ont subi aucune altération. Mais les dissemblances qui peuvent être remarquées dans les étages inférieurs s'effacent entièrement pour l'étage supérieur, où l'abondance des silex, la couleur, la finesse dans le grain des calcaires, ainsi que l'alternance de quelques bancs de *galestri* reproduisent tous les caractères de la *majolica*.

La montagne de Djebel-Dersah forme la portion orientale de la chaîne du petit Atlas, qui s'étend depuis la montagne des Singes jusqu'à la rivière de la Bousfika, près d'Angera. Ainsi que nous l'avons déjà dit, elle supporte directement la formation néocomienne, dont elle se distingue par la netteté de sa stratification, par la couleur foncée de ses roches, et surtout par la régularité et la monotonie de ses lignes terminales. Vu des hauteurs de Djebel-Zemzem, le profil de Djebel-Dersah dessine une immense terrasse dominée au midi et au nord par les coupoles colossales du terrain néocomien, qui semble la protéger à la manière des grosses tours dont sont flanquées les remparts d'une ville fortifiée. Cette différence d'aspect avait tellement attiré mon attention, lorsque je cherchais, les premiers jours, à m'inspirer de la physionomie générale de la contrée, qu'elle me fit immédiatement soupçonner l'existence des deux terrains distincts, et qu'elle dirigea mes recherches vers une solution déjà entrevue, et que mes observations de détails ont résolue conformément à l'idée préconçue que je m'étais formée.

Entre Tétuan et Angera les montagnes jurassiques sont couronnées par une série de plates-formes dont quelques unes sont converties, pendant l'hiver, en lacs d'une certaine étendue. Ces pla-

teaux ouvrent des passages tellement faciles, malgré la raideur des pentes qui y conduisent, que les tribus s'en servent de préférence aux sentiers qui suivent le fond des vallées, tant les moindres pluies les rendent impraticables.

L'indépendance du terrain jurassique est rendue manifeste par l'indifférence avec laquelle il repose sur les tranches du terrain de transition, comme on le voit depuis le cimetière des juifs jusqu'au col qui conduit à Sempsa, à travers le Djebel-Dersah. Cette indépendance, dévoilée par la superposition, est aussi confirmée par la direction des couches qui est E. 48° N., O. 48° S., tandis que celle du terrain de transition est généralement N. S. Cette différence serait insuffisante cependant à elle seule pour établir un caractère bien tranché de séparation; car elle pourrait être attribuée à l'éloignement des points où les observations sont recueillies, si la discordance de stratification ne venait en fortifier la valeur; mais la constatation de ce dernier fait a de l'importance, parce qu'elle nous démontre que le relief de l'Atlas a changé par suite d'un second soulèvement postérieur à celui qui a disloqué les terrains de transition, dont les portions émergées sont toutes refoulées vers le littoral.

Cette observation n'est pas isolée; elle se reproduit sur quelques points des collines de la tribu de Kellallinn, et principalement au nord de la tour assise sur le contre-fort de Djebel-Dersah qui descend jusqu'à Rastorf, où l'on remarque un lambeau du terrain jurassique très circonscrit reposer sur le terrain de transition, sans l'intermédiaire des marnes bariolées que nous avons vues en former la base. Les dolomies, dans cette localité, sont remplacées par des couches épaisses d'un calcaire jaunâtre, à cassure très fine, mélangé de quelques veines de schistes argileux qui donnent à l'ensemble l'apparence amygdalaire et bréchiforme. Ce calcaire offre sur les surfaces exposées à l'air une grande quantité de lignes courbes spathiques dues à des fossiles, parmi lesquels on distingue des Térébratules et d'autres bivalves. La présence, par conséquent, des marnes bariolées ne constitue pas un étage constant, mais bien un accident particulier qui s'est reproduit lorsque les eaux de la mer jurassique, en envahissant le terrain de transition, ont trouvé dans des argiles délayables des éléments de remaniement et de recomposition (voyez *fig.* 4).

Malgré le développement considérable que le terrain oolithique prend dans le Djebel-Dersah, on peut néanmoins le considérer comme un point insignifiant, comparativement à la grandeur de la chaîne néocomienne qui s'étend sans interruption depuis le

détroit de Gibraltar jusque dans la province de Constantine, d'où elle doit se prolonger plus loin vers la régence de Tunis. Cette prédominance se soutient encore en Algérie, car M. Renou a pu à peine y trouver quelques surfaces jurassiques. Ce terrain est-il réellement représenté sur le littoral africain par quelques îlots disséminés çà et là, ou bien les soulèvements qui ont accidenté cette partie du continent africain ne l'ont-ils mis à découvert que sur quelques points, la presque totalité de la formation étant restée cachée sous les dépôts plus récents? C'est cette dernière opinion vers laquelle nous inclinerions, puisque sa présence en Algérie et dans le Maroc indique une continuité qui se poursuit jusque dans l'Espagne et principalement dans l'Andalousie, où les montagnes calcaires à stratification ondulée forment au-dessus des quartzites de transition des bandes très étendues. Le rocher de Gibraltar, les sommités de San-Rocco et de la baie d'Algeziras appartiennent bien certainement à la même formation que le Djebel-Dersah, et elles présentent, comme dans le Maroc, les mêmes caractères minéralogiques, c'est-à-dire des calcaires noirâtres et grisâtres, avec des silex à leur partie supérieure; ils reposent également en stratification discordante sur les quartzites dont la base des montagnes des côtes de l'Andalousie est en général formée.

J'ai remarqué que le terrain jurassique, pris dans son ensemble, s'étend beaucoup plus vers le N.-O. que ne le font les montagnes néocomiennes : cette tendance à s'écarter de la chaîne principale est bien évidente quand on remonte la vallée de la Bousfika en passant par les escarpements de Sempsa, d'où le regard embrasse dans tous ses développements le front des couches néocomiennes qui s'étendent de Djaritz à la tribu de Wadasken. On remarque de ce point l'extension irrégulière que prend le terrain jurassique en face de Benidères, et qui a forcé la rivière de la Bousfika à se couder de manière à faire l'angle droit; et comme les derniers contre-forts qu'il pousse vers le N. vont en s'abaissant graduellement, le terrain à fucoïdes finit par les recouvrir, mais non pas d'une manière tellement complète que quelques îlots ne se montrent de loin en loin, ainsi qu'on l'observe au-dessus d'un des douairs des Benidères. Cette remarque conduit donc naturellement à admettre que le terrain jurassique forme le sous-sol du revers méridional du petit Atlas, et que, lors des soulèvements qui ont accidenté le Maroc, les extrémités du bassin qui se trouvèrent placées sur les lignes principales des fractures furent appelées à faire partie de cette chaîne, tandis que le restant du système

que son niveau plus bas ne mit point à l'abri du recouvrement par les autres mers est aujourd'hui étouffé sous des dépôts plus modernes ; sans cela il serait difficile de concevoir comment, sur la côte d'Espagne, en face même de l'Atlas, le terrain jurassique a pris un développement très exagéré, et qui ne trouverait pas son équivalent dans la continuation des mêmes montagnes, à moins toutefois qu'on ne préfère admettre que la formation jurassique de la péninsule espagnole expire dans les environs de Tétuan. Cette double conclusion est justifiée par l'indépendance réciproque des terrains de transition, jurassique et néocomien.

La direction générale, ainsi que nous l'avons déjà dit, est E. 48° N., O. 48° S. ; elle représente la moyenne de cinq observations dont les limites extrêmes de variation ne dépassent pas cinq degrés ; nous n'avons pas eu la faculté, à cause du périmètre restreint qu'embrasse le terrain jurassique, de promener la boussole sur des points éloignés les uns des autres, comme nous avons pu le pratiquer pour celui de transition ; mais les renseignements que nous possédons, malgré une différence de huit degrés environ, suffisent pour nous dévoiler dans le Maroc les traces du redressement qui a disloqué la chaîne du Jura, les Cévennes, la Bourgogne et les Vosges avant le dépôt de la craie inférieure.

Chapitre quatrième. — *Terrain crétacé.*

Le terrain crétacé, proprement dit, est représenté dans le petit Atlas marocain par deux étages infiniment liés ensemble et qui sont le calcaire néocomien à *Chama ammonia* d'un côté, et le calcaire à *Nummulites* de l'autre ; il ne faut point confondre ce dernier avec le terrain à fucoïdes qui correspond au macigno et à l'albérèse des Italiens, et qui se trouve refoulé entre le grand et le petit Atlas. Les nummulites, suivant M. Bayle, sont associées dans les environs de Constantine aux couches à hippurites et ne peuvent point, géologiquement parlant, en être séparées, pas plus qu'on ne pourrait séparer le lias des autres étages jurassiques. Qu'elles constituent un système supérieur au grès vert ou que sur quelques points elles y pénètrent même, ce n'est pas là la question qui doit nous préoccuper. Comme un grand nombre de paléontologistes nient l'existence de ces fossiles dans le sein des couches crétacées et les croient exclusivement propres aux terrains tertiaires, il est utile de bien éclaircir ce point de doute en comparant la valeur des caractères zoologiques avec ceux de la superposition. Et d'abord

les nummulites sont citées par M. Viquesnel (1) comme associées aux hippurites dans la Servie, dans l'Albanie supérieure et dans le Pinde. M. Pilla les signale ensuite dans les mêmes relations dans les montagnes de la Calabre et désigne le système qui les contient sous le nom de *nummulitico-hippuritique*. M. Matheron proclame aussi leur présence dans les grès verts de la Provence. Ces exemples, en admettant l'exactitude des observations, me paraissent établir l'existence de ces singuliers corps dans le terrain crétacé. Nous laisserons de côté la confusion introduite dans la détermination des espèces qui ne saurait atteindre la détermination du genre. Dès lors je ne conçois pas pourquoi on s'obstinerait, contrairement à l'opinion des géologues qui ont vu, à reléguer cette famille de foraminifères dans une formation dont elle n'aurait pas eu le droit de franchir les limites, lorsque chaque jour nous voyons des genres, que l'on avait supposés tertiaires, descendre jusque dans le terrain silurien. Je ne sais ce que nous apprendront de plus complet sur ce sujet les observations ultérieures; mais, si à mon tour j'ai bien observé dans le Maroc, il n'y aurait guère possibilité de séparer, géognostiquement du moins, les calcaires à nummulites du calcaire néocomien à *Chama*, et comme d'un autre côté les grès à fucoïdes se trouvent dans cet empire discordant avec les premiers, si ceux-ci renferment véritablement des nummulites, il en résulterait d'une manière incontestable qu'il existe en Afrique comme dans l'Italie, dans la Crimée et dans la Turquie d'Europe, en dehors du terrain tertiaire proprement dit, deux formations nummulitiques distinctes et séparées l'une de l'autre par un soulèvement.

J'ai eu l'occasion d'étudier pendant quatre ans le terrain d'albérèse et de macigno dans l'Italie. Bien que ce terrain auquel M. Pilla a imposé le nom d'Étrurien, et que ce savant fait parallèle avec le terrain épicrétacé de M. Leymerie, soit désigné aussi par l'épithète de nummulitique, j'avoue que je n'y ai jamais rencontré de nummulites; les corps organisés que j'avais pris pour tels, appartenant plutôt à des operculines, à des lenticulites ou à d'autres genres voisins et peu connus, les nummulites, suivant moi, ne se montreraient que dans l'étage supérieur que M. Pilla a introduit après son premier travail dans son terrain étrurien et dont les Apennins du Bolognais m'ont offert de nombreux exemples. C'est ce dernier étage bien distinct des couches à fucoïdes que je

(1) *Mémoires de la Soc. géol. de France*, 2e série, 1er volume, page 289.

considère comme l'équivalent des couches à nummulites des Basses-Alpes, des Corbières et du Vicentin. Le macigno et l'albérèse constitueraient par conséquent quelque chose de plus franchement crétacé, et j'ajoute qu'en considérant que cet étage est, en Italie comme en Afrique, le siége ordinaire des filons métalliques, filons qui ne pénètrent jamais dans l'étrurien supérieur ni dans le Vicentin, ni dans les Corbières, ni dans le col de Tende, je trouve dans ce fait d'abord, et dans celui de la superposition ensuite, des arguments puissants en faveur de l'opinion que j'émets. Toutefois il est bon de faire remarquer ici que quelque sentiment que l'on ait sur les couches à nummulites du Vicentin, dès l'instant que, conformément à ma manière de voir et à celle de M. Pilla, on les considérerait comme supérieures au macigno à fucoïdes, il ne resterait pas moins au-dessous d'elles les nummulites associées aux hippurites. Les géologues qui les introduisent au contraire dans la craie, et adoptent sans réserve les conclusions de M. Pilla, admettent par cela même cinq étages à nummulites qui sont de bas en haut : 1° celui des hippurites ; 2° celui du macigno ; 3° celui du Vicentin ; 4° celui du Soissonnais ; 5° enfin celui du calcaire grossier.

J'ai dû exposer l'état où les controverses ont laissé cette question, avant de passer à la description du terrain crétacé que nous diviserons en trois étages, néocomien, à nummulites et à fucoïdes.

§ 1er. *Étage néocomien.*

La première chose qui frappe le regard du géologue lorsqu'il met le pied sur le littoral marocain baigné par la Méditerranée est la forme des cimes du petit Atlas, dont les découpures en dents de scie donnent à cette chaîne un aspect des plus majestueux et des plus fantastiques. Cette structure festonnée saisit d'autant plus vivement qu'elle contraste avec celle du terrain de transition dont les contours sont émoussés et pour ainsi dire sans physionomie. L'œil aime à contempler ces enfilades de pics, ces coupoles isolées couvertes de neige et qui de loin ressemblent à des promontoires aériens que dominent hardiment le Djebel-Rudia-Bebrass, à l'extrémité d'Angera, et le Djebel-Kilebi, dans le Beni-Hassan. A ces formes écroulées, à ces flancs déchirés et privés de végétation, on reconnaît déjà le terrain néocomien, ce même terrain qui, dans le midi de la France, dans les Alpines et dans la chaîne de la Sainte-Baume, se dévoile par des caractères identiques et par la brusquerie de ses ressauts. Si les détails d'un paysage si accidenté sont difficiles à décrire et à circonstancier, à

cause de la bizarrerie de ses lignes, par compensation rien n'est simple comme la composition des roches qui en constituent la charpente. Ces roches consistent exclusivement en un calcaire gris-jaunâtre, très compacte, à cassure conchoïde et lithographique, excellent pour la fabrication de la chaux grasse, et meilleure encore comme pierre d'appareil, si le Maroc était une contrée civilisée. Il ressemble d'une manière si complète à la pierre dite de Cassis, que le cachet minéralogique devient un caractère rigoureux de classification, ce qui empêche de le confondre avec les calcaires jurassiques de Djebel-Dersah.

Le terrain néocomien a été cité dans l'Algérie, notamment dans les environs de Constantine. M. Bayle, qui a eu l'occasion d'examiner des roches et des fossiles recueillis dans ces localités par M. Fournel, a été tellement frappé de l'analogie qui existe entre les échantillons qu'il a examinés provenant de cette partie de l'Afrique et ceux que j'ai rapportés du Maroc, qu'à leur seule inspection il a proclamé leur identité; seulement j'ai été plus heureux que mes confrères, en ce sens que je suis parvenu à y découvrir quelques fossiles, et un surtout caractéristique, la *Chama ammonia*, dont l'abondance dans les montagnes d'Angera suffit pour établir l'équivalence la plus complète entre le terrain néocomien du Maroc et celui du midi de l'Europe. Angera désigne, comme on le sait, le groupe des montagnes secondaires qui vient se heurter contre les flancs redressés de la montagne des Singes. Si on en excepte le massif de Djebel-Dersah, les crêtes du petit Atlas sont entièrement occupées par la formation néocomienne. Cette formation, un instant interrompue par l'îlot jurassique de Tétuan, reparaît de l'autre côté de la Bousfika et se prolonge à travers le Rif et la province d'Oran jusque dans celle de Constantine. Dans les alentours de Djebel-Soroul, où s'opère la superposition du terrain crétacé, il est facile de saisir la différence de leurs caractères, ainsi que leurs rapports réciproques. On y voit distinctement le calcaire à *Chama* s'appuyer sur les couches ondulées de la *majolica*, qui se terminent, sous forme étranglée, sur les grès dévoniens. Le calcaire néocomien, après avoir recouvert les derniers contre-forts jurassiques, comme on peut l'observer près du fleuve Smir, s'asseoit à son tour sur les mêmes grès dévoniens et sur les micaschistes, et constitue jusque dans le Beniouneus un système franchement indépendant des terrains plus anciens. Mais cette indépendance est encore plus nettement exprimée dans les montagnes de Djaritz et dans celles du Rif, où le calcaire à *Chama* est absolument affranchi de la présence des couches ju-

rassiques, et recouvre d'une manière indifférente les grès rouges, les grauwackes et les phyllades, sans transition aucune. J'ai recueilli en dessus de Benisalah des *Phasianelles*, des *Trochus* et des *Chama ammonia*, qui sont surtout visibles dans les fragments à surface usée; mais cette dernière espèce abonde principalement dans l'Angera, où des couches en sont entièrement pétries, et les nombreux échantillons que j'en ai rapportés ne laissent aucun doute sur la détermination de ce fossile si éminemment caractéristique de la formation néocomienne du midi de la France et de l'Italie.

On a discuté vivement pendant ces dernières années sur la véritable position du calcaire à *Chama*. On sait que depuis longtemps MM. Élie de Beaumont et Dufrénoy l'avaient introduit dans la craie inférieure; mais d'autres géologues n'avaient pas cru devoir se ranger à l'opinion de ces deux savants observateurs et l'avaient considéré comme l'étage supérieur du terrain jurassique. Or, comme le terrain à *Chama*, dans les Pyrénées, dans le midi de la France et dans quelques portions de l'Italie, recouvre immédiatement la formation jurassique, et qu'il n'est pas toujours facile dans ces contrées de reconnaître dans les calcaires compactes qui en constituent le chapiteau les étages kimméridien et portlandien, on avait considéré comme leurs équivalents les couches à *Spatangus retusus* en traçant comme horizon de vraie craie l'étage du gault. Si cette manière de voir eût été exacte, l'Angleterre, mieux que toute autre contrée, était favorablement placée pour justifier cette division, puisque le portlandien et le kimméridien y sont indiqués par des fossiles bien déterminés. Cependant le Mémoire publié récemment par M. Fitton a démontré que l'étage inférieur du terrain néocomien, caractérisé par le *Spatangus retusus*, est placé au-dessus des couches à *Gryphée virgule;* qu'il constitue un étage particulier séparé du terrain jurassique, et que cet habile géologue rattache à la formation du grès vert. Or, comme le calcaire à *Chama* est supérieur au calcaire à Spatangues, il ne saurait, suivant nous, exister le moindre doute sur sa véritable position. Mais le Maroc rend cette démonstration plus évidente encore, puisque dans le petit Atlas le calcaire néocomien repose sur le terrain de transition sans l'intermédiaire du terrain jurassique : s'il appartenait à ce dernier il y aurait lieu de se demander alors ce que seraient devenus ses étages inférieurs. Sa complète indépendance au contraire, je dirai même son antipathie pour le terrain jurassique, jointe à l'existence d'une faune spéciale et qui n'a plus rien de commun avec les couches aux-

quelles on voudrait l'assimiler, est en harmonie parfaite avec les idées théoriques des savants qui les premiers l'ont introduit dans la formation crétacée. De plus, sa discordance avec le Djebel-Dersah est due, là comme en Europe, à la catastrophe qui a déterminé le système de redressement et de fracture désigné sous le nom de Mont-Viso. Nous verrons en effet que les grès à fucoïdes, dont le développement est prodigieux dans l'Afrique septentrionale, se sont établis après le redressement des grès verts dans une mer qui occupait l'intervalle laissé entre le grand et le petit Atlas. La direction N.-N.-O., S.-S.-E. se retrouve dans une portion des chaînons secondaires que l'on observe depuis le fleuve Mansour jusqu'aux Beni-Hassan. Il est juste de déclarer qu'il est assez difficile d'en recueillir de précises dans le système néocomien, car les lignes de la stratification y sont si peu visibles que les indications fournies par la direction des montagnes prises dans leur ensemble ne conduisent qu'à des résultats incertains; toutefois cette circonstance ne saurait prévaloir contre le fait solidement établi de l'indépendance du terrain néocomien et le fait de discordance entre celui ci et les grès à fucoïdes.

§ 2. *Étage des calcaires à Nummulites.*

Ainsi que nous l'avons annoncé au commencement de ce chapitre, il ne nous a pas paru possible de séparer le calcaire à *Chama* des couches à Nummulites qui le couronnent, et notamment dans les montagnes de Djaritz, dans la vallée de Cuitan, qu'il est indispensable de remonter bien au-delà de la cascade que l'on observe en face des cabanes arabes. Le calcaire est grisâtre, compacte comme le calcaire néocomien; seulement il est chargé d'une quantité de grains de quartz roulé qui s'y trouvent disséminés d'une manière assez régulière. Les Nummulites y sont très abondantes et remarquables par le diamètre qu'acquièrent quelquefois certains individus. Elles sont passées à l'état spathique et ressemblent à celles que M. Pilla a rapportées de la Calabre et qu'il annonce avoir trouvées associées aux Hippurites. Il m'a été impossible de découvrir, malgré des recherches minutieuses, le moindre représentant de la famille des Rudistes, et par ces motifs je n'oserais pas me prononcer avec certitude sur le parallélisme qui pourrait exister entre les grès verts à Hippurites des environs de Constantine et les couches à Nummulites du Maroc. Mais si les observations de MM. Pilla et Viquesnel sont exactes, ainsi qu'on est en droit de l'attendre du talent bien reconnu de ces deux

savants, les Nummulites, dans le royaume de Naples ainsi que dans la Turquie d'Europe, seraient mélangées à des Hippurites, et la signification de ces derniers fossiles pour l'âge des terrains qui les renferment ne saurait exciter la moindre réclamation. J'avoue, à mon tour, qu'après avoir étudié sur place et avec soin la liaison qui existe entre les calcaires à *Chama* et les calcaires à Nummulites, il n'a pas pu s'élever de doutes dans mon esprit sur l'origine crétacée de ces derniers, d'autant plus que les grès à fucoïdes qui sont rejetés en dehors du petit Atlas se montrent franchement indépendants du terrain néocomien, sur les tranches duquel on les voit s'appuyer au-dessous de Ouedasken, dans la vallée de la Bousfika, c'est-à-dire sur la lisière où commence la troisième zone. Or, sans discuter ici si les grès à fucoïdes doivent être considérés comme tertiaires ou bien comme craie supérieure, leur discordance avec le terrain néocomien et par conséquent avec les calcaires à Nummulites implique, comme conséquence forcée, leur postériorité, et, en admettant même avec quelques géologues que les grès à fucoïdes sont du tertiaire inférieur, les Nummulites du Maroc seraient inévitablement secondaires.

Outre les Nummulites, les calcaires de Djaritz renferment des Térébratules et des Oursins peu déterminables à cause de leur empâtement dans la roche. On peut en faire une récolte abondante en face du village de Sidi-Ali-Riffi, sur le chemin qui conduit aux moulins de Cuitan par la gauche de la vallée. Le sentier en certains endroits est barré par des blocs énormes qui sont dévalés des cimes du petit Atlas et qui, à cause de la raideur des pentes, ont été roulés jusqu'à plusieurs kilomètres du lieu de leur provenance. Quelques-uns d'entre eux que j'ai mesurés ont un volume supérieur à 1700 mètres cubes. Le haut de la vallée d'Oirguan, dans le Benisalach, est à proprement parler une vallée d'écroulement. Le lit de la rivière est obstrué d'une quantité si considérable de débris, et il est dominé par des crêtes tellement éboulées et fendillées que le spectacle de désolation et de ruines qui s'offre à vos regards vous impressionne si vivement qu'on ne pourrait en peindre les effets avec des paroles. Cette tendance des rochers crétacés à s'écrouler suivant des fissures verticales tient à l'absence de couches nettement séparées, qui, si elles existaient, arrêteraient la propagation des fentes produites par la pression ou le retrait. La montagne entière étant pour ainsi dire une seule couche, les divisions engendrées après la solidification des masses qui n'ont été gênées par aucun obstacle les ont découpées en grandes tranches dans le sens de leur épaisseur, et ont donné naissance, par suite

des éboulements périodiques, à ces enfilades de cirques, de murailles, d'amphithéâtres, d'aiguilles, dont l'ensemble prête à la physionomie de l'Atlas des lignes magiques et fantastiques.

§ 3. *Grès et calcaires à Fucoïdes.*

Des calcaires bleuâtres traversés par des veines spathiques blanches, des marnes grisâtres très feuilletées et des grès chargés de mica; telles sont les roches qui constituent le terrain à fucoïdes, connu aussi sous les noms de *macigno* et d'*albérèse*. Cette formation marine, qui compose la charpente de presque tout l'Apennin et la plus grande partie du sol de la Péninsule italienne, est remarquable autant par la constance de ses éléments constituants que par l'abondance des Fucoïdes et des Foraminifères voisins des Nummulites qu'elle contient. Elle renferme de plus des gîtes métallifères qui, tels que ceux de Péréto et du Massetano, sont l'objet d'exploitations actives. Ces divers caractères se révèlent dans l'Afrique septentrionale avec une ressemblance si parfaite que la description d'une vallée des Apennins semble avoir été rédigée pour une vallée de l'empire du Maroc et réciproquement. Il n'y a pas jusqu'aux roches dont le faciès, la texture et la composition ne reproduisent les mêmes particularités, au point de surprendre l'œil du minéralogiste le plus exercé. Nous savons aussi que les filons des Mouzaias et de Tenez reposent au milieu des argiles à fucoïdes.

Nous avons dit dans le premier chapitre que la troisième zone constituait au-delà du petit Atlas des collines et des montagnes à contours vagues et mal définis, et que ce système s'étendait très avant dans l'intérieur des terres et probablement jusqu'à la base du grand Atlas; d'où il suit que le moyen le plus instructif d'en étudier les accidents consiste à la couper obliquement, en prenant pour objet de ses recherches l'espace compris entre deux points, dont l'un s'appuierait sur le petit Atlas et dont l'autre aboutirait au rivage de l'Océan. Or, la coupe la plus commode et la plus convenable en même temps pour une étude de ce genre est sans contredit la route de Tanger à Tétuan, puisque la ligne parcourue fait, avec la direction de la chaîne principale, un angle assez ouvert, et que, ne laissant pas un seul instant jusqu'au coude de la Bousfika auprès de Sempsa le terrain à fucoïdes, elle vous permet, non seulement d'en saisir toutes les particularités, mais encore d'en constater la position par rapport aux terrains plus anciens. Elle présente de plus un autre avantage dont il faut savoir

tenir compte dans la Barbarie : elle possède à une égale distance des deux villes qu'elle met en communication un Fundoch (caravansérail) où l'on peut passer la nuit, ce qui vous laisse deux journées entières que l'on emploie avec d'autant plus de fruit à l'étude des terrains, que les Arabes de ces contrées, un peu plus familiarisés à la vue des Européens, ne se livrent à aucune hostilité contre ceux que la curiosité transporte dans leurs tribus.

Tanger est bâti en amphithéâtre sur un monticule assez élevé, dont le prolongement forme à l'entrée même du canal de Gibraltar une pointe avancée connue sous le nom de Ras Chbertil (cap Spartel). Sous Tanger les derniers ressauts montagneux s'abaissent graduellement et disparaissent sous la plage sablonneuse dont quelques dunes désertes augmentent jusqu'à Tanger-Vieux la monotonie. La portion de la côte qui s'étend depuis le Ras-Chbertil jusqu'au-dessous des fortifications, étant exposée à la fureur des vagues que les vents et les courants poussent contre la gueule du détroit, est taillée en escarpements abruptes dans lesquels les couches mises à nu se laissent étudier avec facilité.

On y distingue la succession des couches suivantes :

1° Grès micacés grisâtres à grains très fins, feuilletés et contournés, puissance 15 mètres (voyez *fig.* 7) ;

2° Schistes noirs, fissiles, se débitant en plaques, mais ne présentant aucune solidité, $3^{m},50$;

3° Grès à grands bancs plus solides que les grès précédemment indiqués et pénétrés de nodules de pyrites en général décomposées, 14 mètres ;

4° Schistes marneux bleuâtres très fissiles, remplis d'empreintes de *Fucus Targioni et intricatus*, 16 mètres ;

5° Grès micacé (*macigno*), 2 mètres ;

6° Schiste rougeâtre feuilleté, $3^{m},50$;

7° Macigno en grands bancs, 3 mètres ;

8° Enfin un ensemble de schistes rougeâtres et verdâtres dont la puissance est de 35 à 40 mètres, mais qui se soude à d'autres bancs qui continuent la formation.

Ce système dirigé E. 22° S., O 22° N., se poursuit dans le nord et à l'ouest de Tanger, où il forme le sol de ses environs jusqu'à Larache et au-delà. A la Vieille-Batterie, près du cap Spartel, les macignos taillés à pic dominent majestueusement la mer, tandis que les argiles délayables se laissent entamer par les eaux et contrastent par leurs profils émoussés avec la hardiesse des lignes dessinées par les grès. Ce contraste est indiqué d'une manière très saillante au-dessus de Tanger, sur l'emplacement du Socco (grand

marché), où l'on voit de grandes assises de grès presque verticales se dresser sous forme de gradins étagés et déchaussés à leur base, et alterner avec des bancs d'argiles que les eaux ou la désagrégation qui accompagne leur action ont enlevées jusqu'au niveau général du sol. Les jours du marché ou bien quand les fêtes nationales amènent le spectacle des *fantasias*, les Arabes occupent gravement ces gradins qui leur composent ainsi un amphithéâtre dont la nature a fait les frais. Quand on se dirige à travers le cimetière des Maures vers les ruines de l'aqueduc romain, on voit reparaître les argiles rouges entamées jusqu'au vif par des ravins profonds, ainsi que des calcaires à veines spathiques blanches. On recueille à la surface du sol une variété de fer hydroxydé remarquable par sa forme et par sa structure. Elle consiste en de petites baguettes ellipsoïdales aplaties et recouvertes d'un encroutement granuliforme et rugueux qui les fait ressembler à des étuis de peau de chagrin.

Les environs de Tanger, grâce aux découpures des côtes, ont l'avantage de vous initier avec rapidité à la connaissance du terrain à fucoïdes en vous en montrant à nu les éléments. Ce premier pas une fois fait, l'étude de la première zone ne présente plus aucune difficulté, mais elle devient fatigante par la monotonie et la reproduction des mêmes faits : ce sont toujours des alternances d'argiles, de macignos et de calcaires.

De Tanger au Fundock, on traverse un système très étendu de collines et de montagnes à contours arrondis, composées en général d'argiles grisâtres délayables qui donnent naissance à des plateaux fangeux et à des marais interminables. Lorsqu'on suit les sentiers tracés sur les flancs des vallées, on aperçoit dans les fondrières les argiles que les eaux convertissent en terres boueuses ; elles alternent par intervalles avec quelques bancs de calcaire qui forment des barrages dans ces terrains mouvants toujours prêts à couler dans les plaines. Les couches sont ordinairement inclinées de 55 à 70° ; cependant comme elles sont assujetties à des inflexions assez brusques, elles deviennent quelquefois horizontales. Dans ce dernier cas, les calcaires composent des plateaux isolés et taillés dans tout leur pourtour, comme si la main des hommes les eût façonnés en ouvrages de fortification. Les talus argileux sont jonchés de fragments aplatis qui proviennent de la portion des bancs calcaires qui se sont rompus, après l'enlèvement des argiles sur lesquelles ils s'appuyaient. On croirait alors avoir à faire à des constructions cyclopéennes dont les assises auraient été déplacées. Cet accident se répète pour les grès, mais comme ils se brisent avec irrégularité

et que les angles et les arêtes se détruisent avec plus de facilité, ils prennent en peu de temps la forme de gros blocs roulés. Cependant on observe de distance en distance des escarpements très hardis formés par les assises du macigno dans les montagnes des Ouadrass et qui établissent les lignes de faîte entre les vallées de la Bousfika et de Mgoga. Mais ces escarpements dépassés, la monotonie des argiles recommence et ne vous abandonne plus jusqu'au Fundock qui est bâti sur une montagne boisée d'oliviers. Dans le voisinage de ce caravansérail les argiles sont recouvertes par des couches très puissantes d'un calcaire (*albérèse*) bien stratifié et alternant avec des marnes grises, qui, lorsqu'elles sont détrempées par les eaux, forment des passages très difficiles. Les calcaires à leur tour sont couronnés par un système plus puissant encore de macigno dont la physionomie rappelle exactement celle des vallées supérieures des Apennins.

Après avoir dépassé le territoire des Benidères, en face du coude de Bousfika, le terrain à fucoïdes vient s'appuyer contre les couches jurassiques de Sempsa, en longeant le revers méridional du petit Atlas, qu'il ne franchit jamais. Les bords de la Bousfika offrent quelques coupes heureuses qui rappellent celles de Tanger, avec les mêmes alternances des argiles, des calcaires et des grès caractérisés par la présence des Fucoïdes. Dans le sentier tracé au-dessus de la rivière on peut recueillir des échantillons calcaires entièrement pétris de fragments d'Encrines, de Mélonies, de Miliolites, d'Orbiculites et d'autres corps cloisonnés très abondants en Italie, et que l'on a presque constamment confondus avec les Nummulites. Entre Fundock et Tanger j'avais aussi observé quelques blocs remplis d'Huîtres et de Gryphées indéterminables, qui en font une véritable lumachelle. Comme ces blocs n'étaient point en place, je n'ai pu constater leur véritable position; cependant la vivacité de leurs angles me fait penser qu'ils devaient appartenir à une couche subordonnée dont les affleurements auront été emportés dans la débâcle des argiles encaissantes.

Le terrain à fucoïdes forme la charpente des régions montagneuses qui s'étendent jusqu'à l'axe de la Barbarie proprement dite, c'est-à-dire jusqu'au grand Atlas, en occupant l'intervalle compris entre cette chaîne et celle du petit Atlas. Son prolongement dans les possessions françaises est un fait trop bien démontré pour qu'il soit nécessaire de l'établir ici par des preuves que ne comporte pas notre travail; d'où l'on peut conclure qu'il recouvre à lui seul les quatre cinquièmes au moins de la portion montagneuse de l'Afrique septentrionale qui nous est connue.

La présence des Fucoïdes et des Foraminifères dans les argiles inférieures, soit à Tanger, soit à la Bousfika, ne peut laisser aucun doute sur l'âge des couches qui les renferment et sur leur équivalence avec le terrain de macigno de l'Italie, qui présente à son tour les mêmes fossiles et occupe la même position. Seulement nous ne connaissons pas en Toscane et dans les Apennins ce développement excessif d'argiles qu'on a constaté dans le Maroc et dans l'Algérie; mais en revanche les grès, dans les Apennins, paraissent s'être développés aux dépens des argiles, et l'on peut dire que l'épaisseur des trois termes qui composent le terrain à fucoïdes dans l'Afrique n'a rien d'exagéré quand on la compare à la puissance de celui de l'Italie.

La direction E. 22° S., O. 22° N., que nous avons relevée sous Tanger, se maintient la même, malgré quelques variations, dans les diverses localités que nous avons eu l'occasion de visiter; elle affecte en même temps une certaine portion de chaînons situés entre le grand et le petit Atlas, et qui sont tous formés par le terrain à fucoïdes: aussi peut-on dire qu'après la direction des Alpes principales, qui imprime au Maroc ses traits dominants, le soulèvement des Pyrénées est celui qui a influé avec le plus d'énergie sur le relief de cette partie de l'Afrique.

La position de terrains à fucoïdes a donné lieu dans ces dernières années à des contestations très vives, et la discussion continue aujourd'hui encore, malgré les travaux spéciaux MM. Savi et Pilla. On sait que ce dernier géologue, dans la première partie de son Mémoire sur le terrain étrurien, considérait le macigno et l'albérèse, qui constituent, à proprement parler, le terrain à fucoïdes, comme l'équivalent du terrain épicrétacé de M. Leymerie: cette assimilation n'était pas rigoureuse, car il est incontestable que les grès à fucoïdes, dans les Pyrénées, et notamment à Gensac et à Villeneuve de Lécussan, forment un étage inférieur aux Nummulites des Corbières; il y a plus, les fossiles que l'on avait pris pour des Nummulites dans le macigno de la Toscane ne sont pas de vraies Nummulites, mais bien des Foraminifères voisins des Lenticulites. Plus tard, M. Pilla observa au-dessus des grès à fucoïdes, dans le Massétano et dans la vallée supérieure du Tibre, un système de grès particulier qui ne se rencontrait qu'exceptionnellement en Italie, et dont il fit, dans un supplément à son travail, son étage supérieur du terrain étrurien. C'est le même système que j'avais déjà reconnu en 1845 dans les Apennins bolognais, et dans lequel j'avais recueilli des Nummulites et des Turbinolies. M. Pilla alors, au lieu d'assimiler le macigno et l'al-

bérèse à fucoïdes au terrain des Corbières, comme il l'avait précédemment établi, ne le fit que pour ce nouvel étage, et il proclama son équivalence avec les couches à Nummulites du Vicentin, des environs de Nice et de Alpes maritimes. Je me trouve parfaitement d'accord avec mon savant ami pour cette concordance ; je me permettrai seulement de lui contester l'exactitude de la détermination d'une Huître très abondante dans cet étage supérieur, et qu'il a considérée comme la *Gryphæa columba*. Il n'y a qu'à examiner les figures qu'il en donne pour reconnaître l'erreur dans laquelle il est tombé. Je remarque que des méprises de ce genre sont d'autant plus fâcheuses dans des discussions délicates que l'on a projet de résoudre par les arguments paléontologiques, que la fausse application de ce caractère jette de la défaveur sur tout ce qu'un travail consciencieux peut renfermer d'utile. Ainsi, en admettant sans preuves suffisantes que l'étage à Nummulites du Vicentin renferme la Gryphée colombe, on a l'air de préjuger par l'existence de cette coquille, si éminemment caractéristique du grès vert, l'origine crétacée de l'étage contesté.

Comme l'empire du Maroc ne renferme point les couches à Nummulites supérieures aux grès à fucoïdes, je ne m'occuperai que de ces dernières, que je considère comme représentant la craie supérieure. Je me fonde en premier lieu sur leur position incontestable au-dessus des grès verts et au-dessous du terrain épicrétacé, comme on l'observe dans le Massétano et ailleurs, et, en second lieu, sur la valeur de leurs fossiles, parmi lesquels je citerai le *Hamite* et l'*Ammonite* découverts par MM. Micheli et Pentland dans le macigno des environs de Florence, où il n'existe réellement que le terrain à fucoïdes. Si à ces considérations on ajoute les inductions tirées de la présence des gîtes métallifères, très nombreux en Europe comme en Afrique, nos conclusions se trouveront corroborées par des arguments qui, quoique moins absolus que les premiers, sur lesquels nous nous sommes fondé, ont cependant une portée dont il faut savoir tenir compte.

CHAPITRE CINQUIÈME. — *Terrain tertiaire.*

Ce que nous avons à dire sur le terrain tertiaire se réduit à quelques indications que nous rendrons aussi courtes que possible, afin de ne pas surcharger ce mémoire de détails fastidieux qui n'ajouteraient rien à ce que l'on connaît de cette formation. Nous dirons de plus que nos observations se bornent à la vallée de la Bousfika : nous avons bien eu l'occasion d'en examiner quelques

lambeaux sur d'autres points, mais les traits de ressemblance qu'ils ont avec ceux des environs de Tétuan nous dispenseront d'en exposer les particularités.

Nous avons reconnu que les terrains tertiaires se divisent en trois étages, dont les deux premiers appartiennent à la période pliocène la plus récente, et peut-être même au diluvium.

Premier étage. — Il consiste en un assemblage de marne, de calcaire blanchâtre et d'argile qui forme la base de quelques coteaux ,que l'on observe au milieu de la plaine de la Bousfika, et qui servent d'intermédiaire entre la plaine et les ressauts des montagnes secondaires. En se rendant de Tétuan à Tanger ou dans le Rif, on les traverse également, et, malgré les argiles qui en masquent le plus souvent les accidents, il est possible parfois de les surprendre dans les fondrières ouvertes au milieu d'elles. Les fossiles que l'on observe dans les calcaires marneux, les seuls qui résistent un peu, sont des Cyclades, des Paludines et des Planorbes. A mesure qu'on se rapproche des escarpements secondaires qui, de chaque côté de la Bousfika, dominent hardiment les monticules tertiaires, on aperçoit intercalés dans les argiles dont la couleur passe du jaune au rouge vif, des bancs de poudingues et de brèches dont la puissance va en croissant, et qui, sous Sempsa et sur les bords de la rivière, forment des masses considérables que l'on ne peut mieux comparer qu'à leurs analogues du Tholonet, près d'Aix. Si le ciment argileux est d'origine tertiaire, les fragments empâtés appartiennent exclusivement aux calcaires et aux dolomies jurassiques du voisinage. Je crois avoir démontré dans la description que j'ai insérée dans mon *Cours de géologie* (Aix, 1839, p. 211) le mécanisme qui a présidé à l'origine de ces dépôts remarquables. Cette explication s'appliquant aux brèches de Tétuan, je ne saurais mieux faire que de transcrire ce que j'en écrivais.

« Les chaînes secondaires ont déterminé la forme des lacs au » fond desquels se déposaient les couches tertiaires. Les eaux des » lacs ainsi limités ont dû nécessairement exercer leur action éro- » sive sur les bords qui les contenaient, et tous les fragments dé- » tachés et remaniés en se mêlant aux argiles rouges constituaient » un dépôt littoral de poudingues et de brèches, tandis que le » fond se comblait, à la suite de précipitations chimiques, d'autres » matériaux. »

Deuxième étage. — Aux brèches et aux calcaires lacustres succèdent en concordance de stratification les molasses marines caractérisées, comme dans le midi de la France, par des Gompholites,

des grès effervescents et des calcaires empâtant des débris de coquilles marines. Ces molasses s'appuyent sur les flancs méridionaux de Djebel-Dersah, en se moulant, suivant des lignes onduleuses, dans les dépressions préexistantes. Ces lignes représentent le littoral de la mer tertiaire dont les contours sont aussi indiqués par les perforations de Pholades que l'on voit dans la roche jurassique. On y remarque des valves d'*Huîtres*, des moules de la *Perna Soldani*, le *Clypeaster altus*, le *Pecten latissimus*, des Spondyles et d'autres fossiles que l'on retrouve également dans la molasse moyenne du bassin méditerranéen. Le second étage forme une bande parallèle à la vallée de la Bousfika, et il s'étend le long de la fracture qui a divisé la chaîne du petit Atlas dans toute son épaisseur, ce qui démontre que cette rupture dans laquelle s'est engouffrée la mer tertiaire est antérieure à la période tertiaire. Une portion de la ville de Tétuan est bâtie sur la molasse. Le jardin de l'empereur, le marabout et le chemin de Tanger sont autant de jalons dont l'étude vous dévoile les divers accidents de ces grès littoraux (voyez *fig.* 10).

Les couches sont fortement redressées et elles se dirigent N. 22° E., S. 22° O. Cette direction ne diffère pas sensiblement de celle des Alpes occidentales qui est N. 26° E., S. 26° O. et qui affecte aussi le terrain de molasse des Alpes de la Suisse et de la Provence. Le Maroc, principalement dans les montagnes transverses qui suivent le cours du fleuve Mlouia, présente de nombreuses traces de cette dislocation. La régence de Tunis possède aussi un système de montagnes dont l'alignement parallèle à la direction des molasses de Tétuan offre des indices non équivoques de participation à ce même mouvement.

Troisième étage. — Au-dessous des coteaux tertiaires marins s'étend au-dessous de Kellallinn un vaste manteau d'argiles rouges ou jaunâtres, mélangées de quelques débris remaniés, dont les couches peu distinctes, mais indiquées par une coloration différente, sont horizontales. C'est au milieu de ces argiles dont la surface est recouverte par des bruyères ou des eaux marécageuses que les ruisseaux qui se précipitent du Djebel-Dersah se sont ouverts des lits profondément encaissés. Nous avons été très embarrassé, et notre embarras subsiste encore, pour assigner leur véritable place à ces vastes dépôts argileux. Sont-ils réellement tertiaires? Pourraient-ils être assimilés à des dépôts analogues et parfaitement horizontaux que l'on rencontre dans le midi de la France et notamment dans les environs de Marseille? ou bien seraient-ils le représentant du diluvium ancien, qui, après le sur-

gissement des Alpes principales aurait encombré les vallées inférieures? Ces diverses questions que nous nous sommes adressées n'ont pu trouver une solution satisfaisante dans les éléments que nous avons recueillis. Il nous a paru résulter seulement de leur position peu élevée par rapport au niveau de la mer, qu'ils ont été déposés dans un lac, mais nous n'oserions pas affirmer qu'elles sont parallèles aux couches sub-apennines. Nous exprimerons le même doute pour un dépôt de sables argileux jaunâtres que l'on observe au-dessous des batteries de Tanger, et qui repose sur le terrain à fucoïdes. Je laisse aux savants qui viendront après moi ce point de géologie à étudier ; car j'avoue que je n'ai pu bien saisir ses rapports et la place qu'il doit occuper dans l'échelle des formations.

Le relief actuel de l'empire du Maroc n'est pas dû précisément à la catastrophe qui a disloqué les molasses : j'ai eu occasion de remarquer dans la province d'Oran des terrains tertiaires sub-apennins soulevés et dont le redressement, par conséquent, se rapporte à celui des Alpes principales. Les montagnes alignées suivant la direction de ce système, que l'on doit considérer comme le plus général et le mieux exprimé, sont justement celles qui, par leur parallélisme et leur étendue, impriment à l'Afrique septentrionale le cachet de grandeur et de simplicité qui en fait en même temps un de ses traits dominants. C'est, en effet, dans le grand et le petit Atlas, ces deux colosses rivaux, que l'on voit la direction S.-S.-O., N.-N.-E. prédominer sur un si vaste rayon, que les autres directions s'effacent pour ainsi dire devant elle. Cette catastrophe a terminé pour cette portion de l'Afrique la série des événements violents qui ont tourmenté la surface du globe, et rien ne démontre que le relief du sol ait éprouvé depuis de nouvelles perturbations.

CHAPITRE SIXIÈME. — *Formations modernes.*

Les formations modernes consistent en *travertins*, en *brèches osseuses* et en *fer des marais*.

§ 1er. *Travertins.*

Les rivières qui prennent leur source dans les montagnes calcaires, ou qui les traversent dans leur parcours, jouissent de la propriété de dissoudre dans une proportion variable du carbonate de chaux dont elles se dépouillent en partie avant de se jeter dans la mer. Les

dépôts qu'elles forment consistent en des encroûtements à structure spongieuse et tufacée, que l'on observe surtout à l'entour des ressauts que franchissent les eaux, et où l'évaporation plus rapide accélère la précipitation des molécules calcaires. Il serait sans intérêt de décrire ici les diverses localités où de pareilles incrustations s'opèrent, puisqu'il faudrait alors décrire les bords de tous les ruisseaux; mais il est utile d'établir une distinction entre les travertins modernes et les travertins anciens. Ces derniers occupent une position beaucoup plus élevée sur les flancs des vallées, et se montrent avec une puissance qui souvent dépasse une vingtaine de mètres. Les gisements classiques à signaler sont les vallées de la Bousfika et de Cuitan. La ville de Tétuan est bâtie en grande partie sur des travertins qui sont éloignés aujourd'hui de deux kilomètres au moins de la Bousfika, et qui forment à leur terminaison, vers l'E., des escarpements verticaux que l'on a utilisés pour la défense de la place. Ces travertins sont là ce qu'ils sont en Italie, c'est-à-dire des masses énormes d'un calcaire grisâtre carié et tubuleux, reposant indistinctement sur tous les terrains et même sur des amas de cailloux roulés que la rivière avait autrefois charriés, ce qui dénote qu'à cette époque la Bousfika coulait sur un plan élevé de 12 à 15 mètres au-dessus du lit qu'elle occupe aujourd'hui. Bien qu'il soit difficile de distinguer des couches distinctes dans le plateau qui s'étend à l'ouest de la ville, cependant on observe dans quelques lignes grossières de séparation, qui le divisent en tranches parallèles, les effets successifs de la sédimentation, et même quelques temps d'arrêt dévoilés par l'alternance plusieurs fois répétée de sables et de graviers; d'où l'on doit conclure qu'à la précipitation chimique du calcaire succédaient par intervalles des charriages passagers de matières meubles dus à la crue des eaux. Les Arabes ont profité de cette circonstance pour creuser dans ces graviers des tanières où ils renferment leurs bestiaux et où souvent même ils vivent en famille.

Les seuls fossiles que j'y ai observés consistent en des Hélix, dont la forme se rapproche beaucoup de celles qui vivent encore aujourd'hui dans le voisinage, et en des incrustations de plantes et de feuilles, parmi lesquelles j'ai reconnu des débris de *Chamerops humilis*, palmier très abondant dans l'Afrique septentrionale.

Si les travertins de la vallée de la Bousfika sont les plus importants, à cause de leur développement prodigieux, les travertins de la vallée de Cuitan sont plus intéressants par la manière dont ils sont disposés et par le mécanisme qui a présidé à leur formation. La rivière de Cuitan descend des montagnes néocomiennes de

Djaritz, et coule dans une dépression profondément encaissée, et qui n'est autre chose qu'une vallée d'écartement ouverte dans le terrain de transition, et dont la direction est à peu près perpendiculaire aux crêtes de la chaîne principale. A partir du gué de Sidi-Ali-Riffi jusqu'au coude que fait le Cuitan, presque en face du douair de Djaritz, c'est-à-dire sur un rayon de 3 kilomètres environ, cette partie de la vallée est barrée par une série de gradins étagés en retrait les uns au-dessus des autres, de manière à reproduire, mais en grand, la disposition intérieure d'un amphithéâtre romain. Ces gradins sont composés d'un travertin généralement assez solide, quoique très tubuleux, et sont séparés par des plates-formes peu étendues, dont le regard ne peut saisir l'ensemble quand on les considère de la base du système. Mais vues d'un point dominant et à vol d'oiseau, elles ressemblent à autant de petits golfes surmontés par autant de petits promontoires. Les eaux pluviales, en y amenant quelques terres, ont permis de les utiliser pour l'agriculture; mais l'industrie en a tiré un parti plus avantageux en convertissant les ressauts brusques que chaque ligne de gradins forme au-dessus des plates-formes inférieures en autant de cascades qui mettent en mouvement une foule de moulins. J'ai compté jusqu'à vingt-trois de ces barrages étagés dont le surplomb, uniforme pour chacun d'eux pris isolément, varie entre les limites extrêmes de 1 à 8 mètres. Les eaux de Cuitan ont fini par s'ouvrir un passage à travers les tufs jusqu'à la rencontre des terrains anciens, et il est résulté de ce travail une vraie vallée d'érosion dominée sur ses deux flancs par des terrasses sciées verticalement par la rivière même. Une autre particularité assez curieuse consiste en la reproduction du même phénomène dans le lit de Cuitan au-dessous des escarpements anciens. Les eaux déposent, dans les espaces où elles peuvent s'étendre et se tenir en repos dans des flaques, du carbonate de chaux dont l'épaisseur s'accroît par des précipitations successives et constitue des bourrelets, lesquels, la flaque une fois disparue, donnent naissance aux formes gradinées dont les dépôts anciens offrent de si beaux exemples : or, ces derniers n'ont pas d'autre origine, et l'explication se trouve toute écrite dans ce qui s'accomplit aujourd'hui. Il n'existe réellement de différence que dans l'échelle de proportion, suivant laquelle les uns et les autres ont été formés. On conçoit de cette manière que, dans les moments de crue, les eaux recouvrent avec la plus grande facilité les bourrelets qui sont en voie de formation et qu'elles s'épanchent en cataractes superposées. Dans les temps anciens, ces cataractes barraient la vallée entière, tandis qu'ac-

tuellement elles sont limitées au lit même que la rivière s'est creusé dans les travertins.

Il est utile de s'initier par une étude sérieuse à la connaissance du mode de formation de ces travertins pour échapper aux erreurs dans lesquelles vous entraînerait l'illusion, lorsque pour la première fois on se trouve en face de ces amphithéâtres naturels. Comme la plate-forme de chaque gradin vient se souder exactement contre la base du gradin qui la domine immédiatement, cette juxtaposition fait naître l'idée d'une superposition réelle, idée qui tendrait à faire admettre la sédimentation successive de chaque étage, et attribuer au dépôt une épaisseur énorme, qui serait la somme de tous les gradins réunis, tandis qu'en réalité tous les gradins ayant été déposés simultanément, mais dans des bassins placés à divers niveaux, la puissance du dépôt ne dépasse pas 16 mètres, cette mesure s'appliquant aux escarpements les plus élevés que j'aie pu observer.

Les travertins renferment, outre beaucoup d'Hélix, une *Mélanopsie* qui vit en grande abondance dans les eaux de Cuitan, et que je crois être la *M. buccinoïdes;* on peut dire que l'incrustation est déjà opérée en partie avant la mort de l'animal, car leur coquille est constamment recouverte, dans les individus adultes, d'une couche très épaisse de calcaire.

Outre ces travertins, que l'on peut appeler travertins d'eau douce par excellence, j'ai observé à l'embouchure des rivières quelques dépôts de même nature, mais qui contenaient les coquilles marines que la mer rejette sur la côte, et parmi lesquelles dominent les *Cardium*, les *Pectunculus*, les *Ostræa* et des valves de la *Panopæa Faujasii*. Avant d'être engagées dans la roche, ces coquilles ont été en grande partie usées par le frottement, car il est difficile d'en rencontrer une dont les deux valves soient unies. Le plus souvent aussi elles sont réduites à l'état de fragments arrondis et granuliformes. Elles sont empâtées dans une roche calcaire, mais tellement pénétrée de sables et de graviers, et même de cailloux, qu'elle ressemble plutôt aux molasses tertiaires qu'à un dépôt contemporain. La présence de ces animaux marins et des sables dans ces travertins est facile à expliquer. Le vent d'E. qui souffle avec assez de violence et de constance dans ces parages élève, à l'embouchure des ruisseaux et des rivières, des barrages provenant de l'accumulation des sables, derrière lesquels les eaux forment des flaques plus ou moins étendues, dont le niveau est élevé de 1, 2 ou 3 mètres au-dessus de celui de la mer. Ces eaux, se débarrassant alors du carbonate de chaux qu'elles tiennent en

dissolution, empâtent les coquilles, les galets et les sables que les vents ou le flot de mer ont poussés jusque dans ces flaques, en donnant ainsi naissance à une roche arénacéo-calcaire, dans laquelle, malgré leur extrême abondance, les coquilles et les sables ne jouent qu'un rôle purement accidentel.

Le volume des éléments sableux introduits dans ces formations d'eau douce est en rapport direct avec l'éloignement du dépôt de la côte, c'est-à-dire que les grains sont d'autant plus fins que l'on étudie les travertins plus en amont des rivières, ce qui indique évidemment que les vents seuls ont pu les chasser dans l'intérieur des terres; car une fois qu'on a remonté les cours d'eau à 3 ou 400 mètres de leurs embouchures, les travertins sont entièrement privés de particules sableuses et ils reprennent les caractères généraux que nous leur avons reconnus dans les vallées montagneuses. Cependant cette loi souffre une exception qui justifie l'explication que nous venons de donner; elle consiste dans la disposition de ces mêmes éléments, mais dans un ordre inverse que l'on remarque dans les travertins qui se sont précipités entre la ligne du littoral, quand la mer est calme, et la limite extrême du bourrelet caillouteux formé à une certaine distance du rivage par le flot de mer au moment de ses plus grandes agitations. Comme les vagues, en déferlant sur la côte, ont la propriété de pratiquer une espèce de triage mécanique de tous les matériaux qu'elles roulent, les corps les plus volumineux sont chassés le plus en avant et forment les arêtes culminantes du bourrelet dont nous avons parlé, tandis que les flots successifs, à mesure que la furie de la mer se calme, déposent à sa base d'autres bandes de matériaux dont le volume et la densité vont graduellement en décroissant. Ces crêtes deviennent alors une ligne bien nette de séparation entre les effets créés par l'action des eaux et celle des vents qui opère dans un sens diamétralement opposé et produit cependant des résultats analogues (voyez *fig.* 8 et 9).

Lorsque, par suite d'un barrage formé plus près du rivage, une de ces *moraines marines* est envahie par une rivière incrustante, les matériaux qui les composent se recouvrent d'un dépôt plus ou moins puissant de ces calcaires arénacés et pétris de coquilles, de sorte que l'ensemble acquiert une épaisseur de plusieurs mètres, en usurpant les caractères d'un dépôt marin plus ancien. Mais son étendue circonscrite à l'embouchure des rivières et la conservation du test des coquilles renferment son importance dans ses véritables limites, en démontrant que l'on n'a affaire qu'à des dépôts locaux, lesquels, malgré les circonstances curieuses qui les caractérisent,

ne sont qu'un épisode de la formation des travertins. On concevra facilement la possibilité d'une précipitation plus abondante et plus régulière du carbonate de chaux sur le rivage que dans les autres régions parcourues par les rivières, quand on réfléchira que les cours d'eau de peu d'importance, comme le sont en général ceux que l'on observe sur le littoral marocain, sont ordinairement barrés à leur embouchure par des dunes et par des amas de galets derrière lesquels les eaux composent de petits lacs et des étangs.

Entre Ceuta et Rastorf, on aperçoit à l'embouchure d'un torrent qui descend de l'Angera des vestiges de construction dont l'âge remonte probablement à l'époque de l'occupation portugaise. Une partie de ces fondements est recouverte par un travertin grésiforme analogue à ceux que nous avons précédemment décrits. Il serait par conséquent très possible qu'il renfermât quelque objet de l'industrie humaine ou quelques débris de poterie qu'on observe quelquefois sur les côtes. Pour peu que ces objets eussent été portés par les flots ascendants à une hauteur de 2 ou 3 mètres au-dessus du niveau de la mer, et qu'après avoir été empâtés par des travertins d'embouchure les rivières qui les ont déposés eussent subi un déplacement considérable, comme on le remarque si souvent sur les côtes sablonneuses, certains géologues n'auraient pas manqué d'attribuer à la mer ces dépôts que l'on supposerait avoir été soulevés postérieurement par une cause quelconque et qui constitueraient ces terrains *quaternaires* dont on a cité des exemples sur les bords de la Méditerranée. J'ai eu le temps d'étudier avec beaucoup de soin le littoral toscan, et notamment les alentours de Popolonia, en face de l'île d'Elbe; mais j'avoue que dans les bancs épais de grès calcarifères qui bordent la côte je n'ai jamais reconnu que la molasse marine (*panchina* des Italiens) qui couronne les marnes sub-apennines et que l'on suit sans interruption depuis la mer jusqu'aux montagnes de la Castellina et de Riparbella, où elle atteint une hauteur de plusieurs centaines de mètres, en conservant dans toute ses parties des fossiles exclusivement sub-apennins. A présent il se peut très bien que les nombreux ruisseaux qui se déchargent dans la ligne du littoral, comprise entre Piombino et Livourne, et dont l'embouchure est ouverte au milieu de ces grès tertiaires que les érosions de la mer découpent et dénudent dans tous les sens, que ces ruisseaux, dis-je, aient déposé dans la *panchina* même, avec le carbonate de chaux qu'ils tenaient en dissolution, des grès ou des graviers arrachés aux molasses ainsi que les fragments de poterie qu'ils auront entraînés dans leur course. C'est du moins ce qui se produit dans le voi-

sinage du fort de Torre-Nuova, au N.-O. de Popolonia, où les eaux de Caldana se jettent dans la mer. Ce ruisseau, à son embouchure, s'est creusé dans la *panchina* sub-apennine un lit très profond et très étroit. Or, ces eaux forment sur les bords de la mer des encroûtements qui diffèrent minéralogiquement d'autant moins de la molasse qu'ils sont, pour ainsi dire, composés à ses dépens. Mais ces dépôts insignifiants sont limités à l'embouchure du *Fosso-Caldo*, tandis que la *panchina* essentiellement marine constitue un plateau qui, sur la côte, s'élève jusqu'à 12 à 15 mètres, en s'avançant dans l'intérieur des terres jusqu'aux premières rampes montagneuses du Campigliais. Aussi M. Savi, auquel on doit la description de ces grès qu'il regarde comme quaternaires, est-il obligé, pour expliquer leur position vraiment extraordinaire au-dessus des côtes, de supposer que les eaux de la mer actuelle à laquelle il en attribue l'origine jouissaient non seulement de la propriété incrustante au-dessous de sa surface, mais encore d'étendre cette propriété aux éclaboussures des flots, qui, dans les gros temps, auraient fourni le carbonate de chaux par lequel auraient été agglutinés les coquilles et les graviers que l'on observe au-dessus du rivage. Cette hypothèse entraîne, comme conséquence nécessaire, l'application du même principe aux *panchina* du lac de Rimigliano qui sont la continuation de celles de la côte, ainsi qu'aux *panchina* de la Toscane entière. Alors une objection puissante vient heurter de front cette explication : elle est puisée dans la stratification et le redressement uniforme de leurs couches. Voudrait-on invoquer, pour justifier leur position, un soulèvement lent et progressif, comme on l'a constaté sur les côtes de la Scandinavie? Outre que cette supposition, en admettant même qu'elle rendît compte d'un fait local, devrait s'appliquer également aux *panchina* de la Castellina et du Volterranno qui sont portées à une hauteur de 545 mètres, il serait nécessaire de fixer l'époque de leur soulèvement après l'établissement des sociétés humaines, à cause des fragments de poterie rencontrés dans les terrains en question; mais la stabilité des ruines de Popolonia, la route *Emilia*, la porte Vecchio de Piombino sont là pour attester que depuis l'établissement des Étrusques dans ces contrées aucun déplacement ne s'est opéré dans le niveau des mers. On voit donc que l'appréciation de ce fait général est du domaine de l'histoire des formations sub-apennines (1).

(1) Un puits que j'ai fait ouvrir dans les marbres de Campiglia a suivi jusqu'à la profondeur de 43 mètres une fissure de 3 centimètres

J'ai été entraîné dans cette digression un peu longue par la nature même de mon sujet; car, comme je traite ici d'un terrain contemporain se déposant sur les bords de la Méditerranée, j'ai pensé que l'étude du mode de sa formation pouvait servir utilement l'étude des terrains analogues qui se sont établis sur d'autres points. Comme, d'un autre côté, sur la vaste plage qui s'étend de Ceuta au cap Négro et sur les autres lignes littorales du Maroc que j'ai eu occasion d'examiner, je n'ai jamais rencontré les molasses marines, et que par conséquent toute confusion entre des grès anciens et des grès plus modernes est impossible, je n'ai pu me méprendre sur les vrais caractères de ces travertins d'embouchure et sur les conséquences qu'on peut tirer de leur position au-dessus du niveau de la mer. C'est aussi de cette manière que je comprends et que j'explique, au milieu des *panchinas* subapennines et littorales de l'Italie, la présence de fragments de poterie que l'on y a observés.

Je terminerai par une dernière remarque ce que j'avais à dire sur les travertins littoraux : c'est qu'ils ne s'écartent jamais des cours d'eau qui leur ont donné naissance ; du moins quand on en rencontre plusieurs lambeaux à l'embouchure d'un fleuve, ils correspondent aux diverses embouchures que ce fleuve s'est ouvertes au milieu des sables mouvants. On se rendra pareillement compte de leur épaisseur, comparativement plus grande, quand on réfléchira que sur les bords de la mer le carbonate de chaux a la faculté d'agglutiner des sables et des graviers qui augmentent d'autant leur volume, tandis qu'en dehors des côtes le calcaire se dépose sans mélange.

---

environ. Cette fissure était remplie par un limon argileux assez dur, mélangé de calcaire stalactitique; mais avec ces limons avaient pénétré quelques fragments d'amphibole et d'ilvaïte provenant de déblais anciens placés au-dessus du puits. En examinant au jour quelques échantillons recueillis à la profondeur d'une quarantaine de mètres, j'ai reconnu parmi les corps qui avaient engorgé cette fente un débris de poterie étrusque. Certainement si un fait pareil eût été constaté dans la *panchina* du Livournais, où il aurait pu se produire avec plus de facilité qu'à Campiglia, à cause des crevasses nombreuses que l'on observe sur les bords de la mer, il eût été bien difficile, pour ne pas dire impossible de distinguer de la *panchina* le calcaire limoneux introduit postérieurement, et alors on eût pu considérer comme très moderne un terrain que ses fossiles et sa position rapportent à l'étage des marnes sub-apennines. — J'ai cité cet exemple pour prouver comment quelquefois des faits bien constatés peuvent cependant entraîner dans des erreurs involontaires.

§ 2. *Brèches osseuses.*

Les descriptions que nous possédons des brèches osseuses des bords de la Méditerranée nous dispenseront d'entrer dans de longs détails sur le gisement que nous en avons découvert dans les environs de Tétuan. La forteresse qui couronne les murs de cette ville est assise sur la partie inférieure du terrain jurassique qui, dans le Djebel-Dersah, est composée de dolomies noirâtres très cristallines. A 300 mètres environ du pied de la forteresse, en se rendant en ligne droite vers le chemin d'Angera, les bancs dolomitiques se redressent presque jusqu'à la verticale en laissant dans leur intervalle un espace vide, produit par la désagrégation. Ce travail a donné naissance à des surfaces très raboteuses et surtout à une infinité de sillons à peu près parallèles, dominés par des escarpements que les parties de la montagne restée en place forment au-dessus d'eux. Ce sont justement ces sillons qui ont été engorgés par un calcaire stalactitique souillé d'argile jaunâtre ou rougeâtre. Quelquefois ce calcaire est pur, à cassure conchoïde, éclatant sous le marteau en écailles très nettes et avec un bruit sonore : il est alors un peu rubané et les zones sont indiquées par des lignes roses. Rarement il est cristallin : des bancs enfin constituent des brèches à gros éléments dans lesquels on distingue les dolomies du terrain encaissant, les calcaires, les phyllades, les grès rouges et des fragments de quartz, que les éboulements et les eaux auront entraînés du voisinage et qui auront été saisis par le calcaire incrustant.

C'est au milieu de ce calcaire que j'ai découvert des fragments d'ossements emprisonnés, sans qu'il m'ait été possible de détacher aucune pièce qui m'ait permis de reconnaître à quelles espèces de mammifères ils avaient appartenu. Il aurait fallu pour cela enlever des blocs plus volumineux que ceux que j'ai pu me procurer avec mes marteaux; mais une opération de ce genre, exécutée dans les environs d'une ville arabe, aurait entraîné des inconvénients très graves, et il aurait été téméraire de tenter l'entreprise. Avec ces ossements on rencontre des Hélix dont la conservation est si parfaite que l'on peut en déterminer les espèces avec la plus grande exactitude ; car, bien que la fossilisation n'ait pas respecté le test, cependant le calcaire qui s'est moulé dans les cavités occupées par les coquilles a si bien conservé les détails de leurs caractères extérieurs, que l'on y reconnaît sans peine les *Helix lactea*, *lapicida*, *naticoïdes*, *erycina*, etc., toutes espèces qui vivent encore sur la

localité et dont les débris enfouis dans le calcaire stalactitique indiquent le peu d'ancienneté du dépôt. L'intérieur des coquilles est généralement rempli par du carbonate de chaux blanc, lamellaire et géodique, ainsi qu'on l'observe pour des fossiles des terrains anciens.

§ 3. *Fer limoneux des marais.*

L'espace compris entre les cabanes de Gheroura, au S. de Rastorf, et les contre-forts expirants du terrain tertiaire de Kellallinn, est envahi par les eaux et converti en grande partie en marécages. Le fond de ces marais est couvert d'un encroûtement de fer hydroxydé, qui y est laissé par les eaux qui y arrivent chargées de principes ferrugineux. Outre les variétés terreuses ou compactes qui y prédominent, on y observe aussi des couches entièrement formées de pisolithes de la grosseur d'une chevrotine, libres ou adhérents les uns aux autres et agglutinés par le sable que les vents chassent des dunes voisines. Ce dépôt atteint sur quelques points la puissance de 75 centimètres; mais le fer y est souillé de tant de matières terreuses, qu'il est fort douteux qu'on puisse jamais en tirer un parti avantageux.

CONCLUSION.

Me voici arrivé à la fin de ma tâche : on trouvera peut-être à critiquer dans un travail qui, embrassant un sujet si vaste, a, avant tout, besoin d'indulgence. J'espère qu'on me tiendra compte de mes efforts et de ma bonne volonté, si surtout on veut bien ne pas oublier qu'une excursion géologique dans le Maroc est une expédition périlleuse qui réclame du courage et de la persévérance; mais elle offre aussi sa gloire. La seule qu'il me soit permis d'ambitionner et que je désire attacher à mon œuvre, c'est d'avoir servi utilement les intérêts de la science, en lui ouvrant un champ jusqu'ici inexploré.

RÉSUMÉ.

Le Maroc nous a présenté cinq grandes formations géologiques qui sont :

1° La formation de transition composée de quatre étages distincts, dont les deux premiers, caractérisés par les schistes cristallins et les grauwackes, représentent le *silurien* inférieur; le troi-

sième, par des calcaires à *Orthocères* et à *Trilobites*, le *silurien* supérieur; et le quatrième, caractérisé par des conglomérats et des grès rouges, représente le terrain *dévonien*.

Cette formation est traversée par des granites, des serpentines et des spilites auxquels on peut attribuer les filons métallifères que l'on remarque dans leur voisinage.

Son soulèvement se rattache au système du nord de l'Angleterre et il est indiqué par la direction N.-S.

2° La formation jurassique, vaste assemblage de calcaires et de dolomies, indépendants et du terrain de transition et du terrain crétacé.

Son soulèvement se rapporte au système de la Côte-d'Or.

3° La formation crétacée, composée de trois étages, dont deux, le calcaire à *Chama ammonia* et le calcaire à *Nummulites*, concordants; et le troisième, le grès à *Fucoïdes*, discordant.

Le premier représente le terrain néocomien; le second, le terrain du grès vert; et le troisième, la craie supérieure.

Le premier soulèvement qui a affecté les deux étages inférieurs se rapporte au système du Mont-Viso; le deuxième, qui a affecté le grès à fucoïdes, à celui des Pyrénées.

4° La formation tertiaire, représentée par un terrain d'eau douce et un terrain marin, tous les deux miocènes et concordants, et par un terrain argileux horizontal.

Deux soulèvements ont marqué cette période : celui des Alpes occidentales, dont la direction est S. 26° O. — N. 26° E., et celui des Alpes principales, auquel le Maroc doit son relief actuel, et le grand et le petit Atlas leur direction.

5° Enfin les formations contemporaines, qui consistent dans les travertins, les brèches osseuses, les fers des marais et les dunes.

Explication des figures.

La fig. 1 montre les filons ramifiés de granite au milieu des mica-schistes de Gheroura.

La fig. 2 montre la position du calcaire à Orthocères A, des grès dévoniens B, des grauwackes C, par rapport au calcaire néocomien N.

La fig. 3 montre la disposition des schistes cristallins D, des grauwackes C et des calcaires siluriens A, aux colonnes d'Hercule.

La fig. 4 montre la disposition des terrains de transition et du terrain jurassique dans la vallée d'écartement de Ouedsegera.

La fig. 5 indique les relations du terrain jurassique J avec le terrain de transition et le terrain à fucoïdes F.

Mémoire sur la partie septentrionale du Maroc, par M. H. COQUAND.

Fig. 1

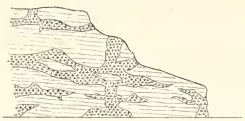


Fig. 2

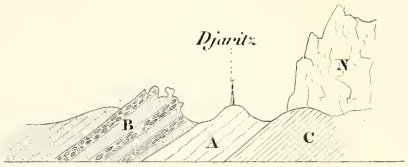


Fig. 3

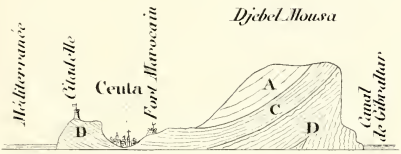


Fig. 4

Fig. 5

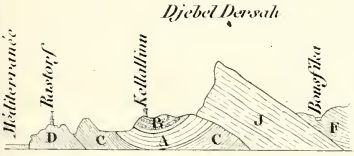


Fig. 6

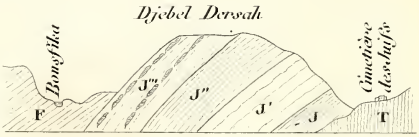


Fig. 7

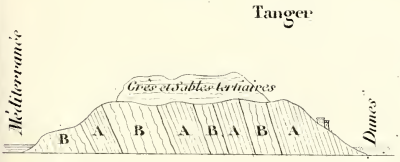


Fig. 8

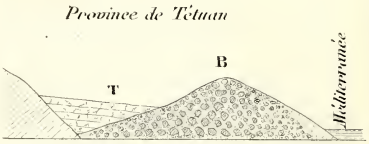


Fig. 9

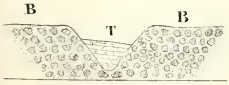
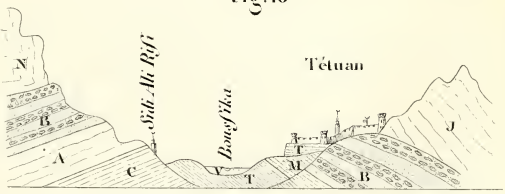


Fig. 10



BRITISH MUSEUM
GRANT
NATURAL HISTORY

La fig. 6 indique les divers étages du terrain jurassique et sa discordance avec le terrain à fucoïdes F.

A. Calcaire silurien.
B. Grès et conglomérats dévoniens.
C. Grauwackes.
D. Micaschistes.

La fig. 7 indique l'alternance du grès à fucoïdes B avec les schistes marneux A.

Coupe prise sous Tanger.

J. Étage marneux.
J'. Étage dolomitique.
J''. Étage calcaire.
J'''. Étage avec silex.
T. Terrain de transition.

La fig. 8 représente un dépôt de travertin d'embouchure T, reposant sur un bourrelet littoral B et empâtant les galets, les coquilles et les sables rejetés par la mer.

La fig. 9 montre un dépôt de travertin d'embouchure T, reposant dans un ancien lit de ruisseau creusé au milieu d'un bourrelet littoral.

La fig. 10 donne la coupe de la vallée de la Bousfika, vallée remarquable par la diversité des terrains qui s'y sont développés.

C. Grauwackes.
B. Conglomérats dévoniens.
A. Calcaire à Orthocères.
J. Jurassique.
N. Néocomien.
T. Terrain tertiaire lacustre.
M. Molasse marine.
T. Travertins.
V. Alluvions.

Nota. On peut voir à l'École nationale des mines la collection de roches de l'empire du Maroc que nous y avons déposée.

La fig. 6 indique les divers étages du terrain jurassique et sa discordance avec le terrain à fucoïdes F.

A. Calcaire silurien.
B. Grès et conglomérats dévoniens.
C. Grauwackes.
D. Micaschistes.

La fig. 7 indique l'alternance du grès à fucoïdes B avec les schistes marneux A.

Coupe prise sous Tanger.

J. Étage marneux.
J'. Étage dolomitique.
J''. Étage calcaire.
J'''. Étage avec silex.
T. Terrain de transition.

La fig. 8 représente un dépôt de travertin d'embouchure T, reposant sur un bourrelet littoral B et empâtant les galets, les coquilles et les sables rejetés par la mer.

La fig. 9 montre un dépôt de travertin d'embouchure T, reposant dans un ancien lit de ruisseau creusé au milieu d'un bourrelet littoral.

La fig. 10 donne la coupe de la vallée de la Bousfika, vallée remarquable par la diversité des terrains qui s'y sont développés.

C. Grauwackes.
B. Conglomérats dévoniens.
A. Calcaire à Orthocères.
J. Jurassique.
N. Néocomien.
T. Terrain tertiaire lacustre.
M. Molasse marine.
T. Travertins.
V. Alluvions.

Nota. On peut voir à l'École nationale des mines la collection de roches de l'empire du Maroc que nous y avons déposée.

M. Élie de Beaumont lit la note suivante :

Note sur les émanations volcaniques et métallifères, par M. Élie de Beaumont.

Dans les leçons que j'ai faites au collége de France pendant l'année scolaire qui vient de finir (1846-1847) j'ai traité des *émanations volcaniques et métallifères;* j'ai fait à cette occasion quel-

ques recherches, et je me suis livré à divers rapprochements dont je demande à la Société la permission de lui soumettre brièvement les principaux résultats.

Le globe terrestre renferme dans son intérieur un immense foyer, dont l'incessante activité nous est révélée par les éruptions volcaniques et par tous les phénomènes qui s'y rattachent.

Les éruptions volcaniques amènent à la surface du globe, d'une part, des roches en fusion, des laves, et tous leurs accessoires; de l'autre, des matières volatilisées ou entraînées à l'état moléculaire; de la vapeur d'eau, des gaz, tels que l'acide hydrochlorique, l'acide hydrosulfurique, l'acide carbonique; des sels, tels que les hydrochlorates de soude, d'ammoniaque, de fer, de cuivre, etc. Ces matières volatilisées se dégagent, tantôt des cratères en activité, tantôt des laves qui coulent, tantôt des fissures voisines des volcans, comme les Étuves de Néron, les Geysers, et on se trouve naturellement conduit à y rattacher d'autres jets de vapeurs chaudes qui se dégagent à des distances plus ou moins grandes des volcans actifs, comme les *soffioni* et les *lagonis* de la Toscane, ainsi que les sources thermales et la plupart des sources minérales. Ces émanations des foyers intérieurs du globe donnent généralement naissance à des masses plus ou moins consistantes, tels que le soufre et les sels des solfatares, les dépôts des eaux minérales, etc.

On peut donc distinguer deux classes de produits volcaniques, ceux qui sont *volcaniques à la manière des laves*, et ceux qui sont *volcaniques à la manière du soufre, du sel ammoniac*, etc.

A toutes les époques de l'histoire du globe, les phénomènes éruptifs ont donné des produits appartenant à ces deux classes, mais la nature des uns et des autres a varié avec le temps.

Si on remonte le cours des périodes géologiques, on voit les matières *volcaniques à la manière des laves* devenir de plus en plus riches en silice. Les plus riches en silice, les granites, sont, en masse, les plus anciennes.

On voit en même temps les matières *volcaniques à la manière du soufre* devenir de plus en plus variées. Je désigne l'ensemble de ces produits par la dénomination d'*émanations volcaniques et métallifères*, parce que la plupart des filons métalliques me paraissent s'y rapporter. Il faut même y comprendre un grand nombre de gîtes de minéraux pierreux.

Dans l'état actuel de la nature, les deux classes de produits sont presque complétement distinctes. Mais à l'origine des choses elles l'étaient beaucoup moins.

On est conduit à concevoir qu'au moment où la surface du globe

terrestre en fusion a commencé à se refroidir les différents corps simples s'y trouvaient répandus sans aucun ordre déterminé. Tout semble avoir été confondu dans ce *chaos primitif* où les premières masses granitiques ont pris naissance ; mais peu à peu les matières *éruptives à la manière des laves* sont devenues moins siliceuses, et les émanations *volcaniques à la manière du soufre*, qui à l'origine renfermaient presque tous les corps simples, sont devenues de plus en plus pauvres.

C'est sur cette marche graduelle des phénomènes chimiques naturels que je désirerais fixer un moment l'attention de la Société.

M. de La Bèche a signalé depuis longtemps ce fait extrêmement remarquable, que, parmi les 59 ou 60 corps simples dont se compose aujourd'hui le répertoire de la chimie, 16 seulement sont généralement répandus en quantités appréciables à la surface du globe (1). Ces 16 corps, indiqués par des astérisques dans la première colonne du tableau placé à la fin de cette note (où les corps sont rangés dans l'ordre adopté récemment par M. Berzelius, en commençant par les plus électro-positifs), sont le *potassium*, le *sodium*, le *calcium*, le *magnésium*, l'*aluminium*, le *manganèse*, le *fer*, l'*hydrogène*, le *silicium*, le *carbone*, le *phosphore*, l'*azote*, le *soufre*, l'*oxygène*, le *chlore* et le *fluor*.

Quoique généralement répandus à la surface du globe, ces 16 corps simples sont bien loin de s'y présenter avec une égale abondance. Quelques uns d'entre eux, comme le manganèse, le phosphore et le fluor, ne se rencontrent que rarement en quantité un peu notable. D'un autre côté, quelques corps simples, qui ne sont pas compris au nombre des 16 signalés par M. de La Bèche comme le plus généralement répandus, ne le cèdent que peu à quelques uns de ces derniers. Ainsi on peut remarquer que, d'après le tableau même, le *titane* est très généralement répandu dans l'écorce minérale du globe terrestre ; mais il ne se présente que très rarement avec abondance. On peut ajouter que le *brome* et l'*iode* accompagnent très habituellement le chlore, et sont par conséquent à peu près aussi répandus que lui, quoique en proportion beaucoup moindre. On peut dire à peu près la même chose du *selenium*, satellite assez habituel du soufre.

Ces remarques porteraient à 20 le nombre des corps simples très généralement répandus. Mais sur ces 20 corps simples, 12 seu-

---

(1) H. T. de La Bèche, *Researches in theorical geology*, p. 24, et traduction française du même ouvrage, par M. H. de Collegno, *Recherches sur la partie théorique de la géologie*, p. 16.

lement, c'est-à-dire $\frac{4}{5}$ environ des corps simples connus, se rencontrent fréquemment et en abondance.

Les substances minérales fixes et solides à la température ordinaire, dont se composent les diverses espèces de laves produites par les volcans actuels, renferment 14 corps simples, indiqués par des astérisques dans la deuxième colonne du tableau placé à la fin de cette note. Ces corps sont le *potassium*, le *sodium*, le *calcium*, le *magnésium*, l'*aluminium*, le *manganèse*, le *fer*, l'*hydrogène*, le *silicium*, le *titane*, le *soufre*, l'*oxygène*, le *chlore*, le *fluor*. Ces 14 corps simples sont tous compris, à l'exception du *titane*, parmi les 16 corps simples signalés comme le plus généralement répandus. Quatre d'entre eux ne se présentent dans les laves solidifiées que d'une manière exceptionnelle, comme par exemple le *soufre* et l'*hydrogène* dans l'acide sulfurique et l'eau de la Haüyne contenus dans la lave de Niédermendig, le *chlore* dans la sodalite qui forme un des éléments essentiels des laves du Vésuve, le *fluor* dans quelques lames de mica que contiennent certains produits volcaniques modernes. Ces quatre corps sont réellement étrangers à la plupart des laves, qui ne contiennent par conséquent que 10 des corps simples indiqués, tous compris, à l'exception du titane, parmi les 16 corps simples signalés par M. de La Bèche comme les plus répandus à la surface du globe.

Les roches volcaniques anciennes contiennent 15 corps simples indiqués dans la troisième colonne du tableau ci-après. Ce sont les mêmes que ceux que l'on rencontre dans les roches volcaniques actuelles, auxquels s'ajoute le *phosphore* à cause de la chaux phosphatée signalée dans quelques roches volcaniques anciennes, mais qui y est très rare. Sous le rapport de la rareté de quelques uns d'entre eux, ces corps simples peuvent donner lieu aux mêmes remarques que ceux contenus dans les roches volcaniques actuelles.

Les roches volcaniques actuelles et les roches volcaniques anciennes ont très habituellement pour base des feldspaths non saturés de silice où les rapports entre les quantités d'oxygène contenues dans l'alcali, l'alumine et la silice sont comme les nombres 1 : 3 : 6 (labrador), 1 : 3 : 8 (andesine, amphigène), 1 : 3 : 9 (oligoklase), et des pyroxènes où le rapport de l'oxygène des bases à celui de la silice est comme les nombres 4 : 8. Certaines laves trachytiques et certains trachytes contiennent seuls des feldspaths saturés, où les rapports des quantités d'oxygène, de l'alcali, de l'alumine et de la silice sont comme les nombres 1 : 3 : 12, et de l'amphibole où le rapport entre les quantités d'oxygène des bases et de la silice est comme 4 : 9. Certains trachytes seulement con-

tiennent dans quelques cas des grains de quartz isolés. Toutes les roches volcaniques contiennent au contraire, généralement, du fer oxidulé titanifère qu'on peut considérer comme un reste de base qui, ne trouvant pas à s'unir à la silice, s'est combiné avec une quantité variable d'acide titanique, par rapport auquel il s'est toujours trouvé en grand excès.

Le caractère général de toutes ces roches est de contenir un excès de base plus ou moins considérable, et par conséquent d'être *basiques* ou au moins à peu près neutres.

La 4e colonne du tableau est consacrée à des roches éruptives, dont le mode d'éruption paraît avoir différé sous plusieurs rapports de celui des roches volcaniques, notamment par la rareté beaucoup plus grande des scories, mais qui se distinguent encore par leur caractère essentiellement *basique*, comme les serpentines et une foule de roches de *trapp* où domine le labrador. On trouve dans ces roches, comme l'indique la 4e colonne du tableau, 30 corps simples, qui comprennent tous ceux déjà signalés dans les roches volcaniques actuelles et anciennes, auxquels s'ajoutent le *cobalt*, le *zinc*, le *plomb*, le *bismuth*, le *cuivre*, l'*argent*, le *palladium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium*, le *platine*, l'*osmium*, l'*or*, le *chrome* et l'*arsenic*. La plupart de ces métaux y sont, à la vérité, fort rares, notamment le palladium, le rhodium, le ruthenium, l'iridium, le platine, l'osmium, qui ne s'y trouvent jamais qu'à l'état natif, et qu'on pourrait peut-être y considérer comme accidentels. Les corps simples, qui sont abondants dans ces roches, sont généralement les mêmes que dans les roches volcaniques (sauf la prédominance de la magnésie dans les serpentines). Le caractère essentiellement *basique* de toutes ces roches leur donne des rapports frappants avec les roches volcaniques; rapports qui ont beaucoup contribué à faire admettre par les géologues modernes leur origine ignée. On peut seulement remarquer que l'eau, très rare comme élément essentiel dans les roches volcaniques modernes, d'où elle s'est presque toujours dégagée au moment de leur solidification, est moins rare dans les roches volcaniques anciennes, dont plusieurs comptent des zéolithes hydratées au nombre de leurs éléments essentiels, et moins rares encore dans les roches éruptives basiques, où le diallage et la serpentine en contiennent constamment.

Pour achever de passer en revue les principales roches éruptives; il nous reste à considérer celles qu'on peut regarder, par opposition aux précédentes, comme essentiellement *acidifères*, c'est-à-dire celles dans la composition desquelles entrent essentiellement des feldspaths saturés de silice, où les quantités d'oxygène de l'alcali,

de l'alumine et de la silice sont comme les nombres 1 : 3 : 12, et qui contiennent en outre généralement des grains de quartz disséminés : tels sont les porphyres quartzifères, le diorite, la syénite, la protogine, le granite et quelques autres roches qu'on peut considérer comme des dégénérescences ou des monstruosités du granite, telles que le granite à grandes parties, le feldspath lamelleux, la pegmatite, laleptynite, l'hyalomicte, l'hyalotourmalite, etc.

Afin d'abréger, j'ai considéré toutes ces roches éruptives, acidifères, *in globo*, et je leur ai consacré la 5e colonne du tableau qui termine cette note, colonne que j'ai désignée comme se rapportant simplement au granite.

Au nombre des traits caractéristiques qui distinguent essentiellement les roches acidifères, on doit remarquer le grand nombre des corps simples qui entrent dans la composition, soit de leurs éléments essentiels, soit des minéraux qui s'y trouvent plus ou moins habituellement disséminés. Ces corps simples, indiqués par des astérisques dans la 5e colonne du tableau, sont au nombre de 42. On trouve parmi eux tous ceux qui existent dans les roches volcaniques et basiques, à l'exception du platine et de quelques uns des métaux qui l'accompagnent constamment (rhodium, ruthenium, iridium, osmium) et de plus les 17 suivants : le *lithium*, l'*yttrium*, le *glucinium*, le *zirconium*, le *thorium*, le *cérium*, le *lanthane*, le *didymium*, l'*urane*, l'*étain*, le *carbone*, le *bore*, le *tantale*, le *niobium*, le *pélopium*, le *tungstène*, le *molybdène*.

Grâce à la présence de ces 17 corps, le nombre des corps simples qui existent dans les roches éruptives acidifères est beaucoup plus grand que celui des corps simples qui sont connus pour se trouver dans les roches volcaniques et même dans les roches éruptives basiques. Ce fait est, si je ne me trompe, un des plus saillants que présente la distribution des corps simples dans l'écorce minérale du globe terrestre. Il est d'autant plus remarquable que les corps simples dont il s'agit, loin de se trouver à l'état natif dans les roches qui les renferment et de pouvoir, jusqu'à un certain point, y être considérés comme accidentels, ainsi que cela a lieu dans les roches basiques pour les métaux de la famille du platine, s'y trouvent généralement oxidés et engagés dans des combinaisons plus ou moins complexes, dont la nature peut fournir des données sur les phénomènes physiques et chimiques qui ont présidé à la formation des masses qui les renferment. Les minéraux variés dans lesquels entrent ces corps simples s'ob-

servent surtout dans les roches acidifères les plus cristallines, telles que les granites à grandes parties, les pegmatites, les hyalomictes, etc.; ce qui peut faire conjecturer que leur présence est en rapport avec le fait encore si problématique de la cristallinité remarquable de ces mêmes roches.

Cette circonstance exigera, pour être bien appréciée, que nous prenions en considération la connexion qui existe aussi entre les roches acidifères les plus cristallines et les roches métamorphiques qui les accompagnent le plus habituellement (gneiss, micaschistes, etc.), ainsi qu'entre les roches acidifères les plus cristallines et une classe particulière et très nombreuse des gîtes des minéraux que j'ai désignés collectivement (en prenant la partie pour le tout) sous le nom de *filons stannifères*.

J'ai consacré la 6e colonne du tableau aux *filons stannifères*, en comprenant dans cette catégorie les filons, petits filons et amas qui contiennent des minerais d'étain ou même seulement les substances qui, comme les minerais de tungstène et de tantale, sont généralement accompagnées d'étain et en sont en quelque sorte les représentants. Cette catégorie de gîtes minéraux est la plus riche de toutes en corps simples; on y en compte 48, c'est-à-dire les $\frac{4}{5}$ des corps simples connus. Parmi eux se trouvent tous les corps simples signalés dans les granites, à l'exception du *thorium* qui n'y a pas encore été reconnu, et on y trouve en outre sept autres corps : le *barium*, le *nickel*, le *cadmium*, le *vanadium*, le *tellure*, l'*antimoine*, le *sélénium*, dont quelques uns seront peut-être découverts dans les granites à la suite de recherches plus suivies, et qui tous se retrouvent dans les *filons ordinaires*.

La nature spéciale des *filons stannifères* ne peut être bien appréciée que par comparaison avec les filons ordinaires, c'est-à-dire avec ceux dans lesquels s'exploitent les métaux les plus employés, tels que le plomb, l'argent, le cuivre, le fer. J'ai consacré la 7e colonne du tableau à ces derniers filons, qu'on pourrait désigner aussi sous le nom de *filons plombifères*, en raison de ce que les filons de galène argentifère peuvent en être considérés comme le type le mieux caractérisé, et j'y ai réuni les masses cristallines contenues dans les *géodes* qu'on trouve fréquemment dans les *amygdaloïdes* des roches basiques, dans les fissures des *septaria* d'un grand nombre de formations et dans diverses cavités des terrains sédimentaires. Cette classe, très nombreuse et très variée, des gîtes de minéraux, est encore très riche en corps simples. On y en compte 43, dont 5 seulement, le *strontium*, le *mercure*, le *platine*, l'*iode* et le *brome*, n'ont pas été signalés dans les gîtes

stannifères ; mais ce qui les caractérise particulièrement, c'est, d'une part, l'absence de 10 des corps simples connus dans les gîtes stannifères, le *lithium*, l'*yttrium*, le *zirconium*, le *cérium*, le *lanthane*, le *didymium*, le *tantale*, le *niobium*, le *pelopium*, le *tungstène*, corps éminemment oxidables et dont les oxides jouent souvent le rôle d'acides, et de l'autre, la proportion très différente dans laquelle les corps communs aux deux listes se trouvent dans les deux classes de gîtes; car l'*étain*, le *molybdène* ne sont abondants que dans les gîtes stannifères, tandis que le *barium*, le *plomb*, l'*argent* ne sont abondants que dans les filons ordinaires.

Parmi les 59 corps simples admis dans le tableau, 6 seulement : le *thorium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium*, l'*osmium*, l'*azote*, ne se trouvent ni dans l'une ni dans l'autre liste. Le *thorium* est extrêmement rare, même dans les granites ; les autres, dont les combinaisons sont généralement peu stables et qui se fixent difficilement, sont compris dans le nombre des corps qu'on rencontre à l'état natif.

La liste des corps simples qu'on trouve dans les filons ordinaires prend un nouvel intérêt lorsqu'on la compare avec celle des corps simples qui, d'après les travaux d'un grand nombre de chimistes, notamment d'après ceux de M. Berzélius, et ceux plus récents de MM. Bischof et Kopp, se trouvent dans les eaux minérales. J'ai consacré à cette dernière la 8e colonne du tableau. Elle comprend 25 corps simples et elle n'est, pour ainsi dire, qu'un extrait de la liste des corps simples trouvés dans les filons ordinaires, car l'*azote* est, parmi tous les corps qui s'y trouvent, le seul qui ne se trouve pas en même temps dans les filons.

Enfin, les listes des corps simples qui se rencontrent dans les émanations des volcans actuels n'est elle-même, en quelque sorte, qu'un extrait de celle des corps simples qui se trouvent dans les sources minérales. Cette liste, à laquelle j'ai consacré la 9e colonne du tableau, se compose de 19 corps simples, dont 3 seulement, le *cobalt*, le *plomb* et le *sélénium*, qui n'y figurent que pour des quantités très peu considérables, manquent à la liste des corps simples qui se trouvent dans les eaux minérales. Parmi les 19 corps simples trouvés dans les émanations des volcans actuels on trouve, sauf le *magnesium*, le *titane* et le *fluor*, tous les corps simples qui entrent dans la composition des roches volcaniques actuelles. On y trouve de plus le *cobalt*, le *plomb*, le *cuivre*, le *carbone*, le *bore*, l'*arsenic*, l'*azote*, le *sélénium*. Ces derniers rapprochent la liste des corps simples trouvés dans les émanations volcaniques de celle des corps simples trouvés dans les sources mi-

nérales et dans les filons, et ce rapprochement est d'autant plus important que les 11 corps simples qui se trouvent à la fois dans les laves et dans les émanations des volcans actuels se trouvent aussi dans les sources minérales et dans les filons. A l'égard de ces corps, la différence entre les deux catégories de gisements consiste essentiellement dans l'état de combinaison dans lequel ces corps s'y trouvent.

Je reviendrai, ci-après, sur ce dernier point, mais auparavant je dois jeter un coup d'œil sur les trois dernières colonnes du tableau.

J'ai consacré la 10e aux corps simples qui se rencontrent sur la surface du globe à l'état natif. Ces corps sont au nombre de 20, et ils paraissent figurer à différents titres dans cette liste supplémentaire. Les uns, comme le *palladium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium*, le *platine*, semblent relégués complétement ou presque complétement dans cette catégorie, à cause de l'instabilité des combinaisons qu'ils peuvent contracter avec d'autres corps. Ils ne forment guère de combinaisons stables qu'entre eux; ils se trouvent généralement ensemble et paraissent constituer comme un monde à part au milieu du reste du monde minéralogique. Aussi les désigne-t-on assez habituellement d'une manière collective sous le nom de *métaux de la famille du platine*. L'*or* et l'*azote* semblent aussi devoir, en grande partie, le privilége de figurer dans cette colonne à l'instabilité de leurs combinaisons. Le *plomb*, le *bismuth*, le *cuivre*, le *mercure*, l'*argent*, le *carbone*, le *tellure*, l'*antimoine*, l'*arsenic*, le *sélénium*, le *soufre*, l'*oxygène*, semblent ne se trouver dans cette liste qu'en raison de circonstances accidentelles qui les ont soustraits aux combinaisons qu'ils auraient pu contracter.

J'ai indiqué, dans la 11e colonne, les corps simples qui ont été trouvés dans les aérolithes, d'après les recherches que M. Angelot a consignées dans deux volumes précédents du BULLETIN (1). Ces corps (en ne tenant compte que de ceux dont l'existence est bien constatée) sont au nombre de 21. Tous sont des corps déjà connus et même assez répandus à la surface du globe terrestre; 15 d'entre eux sont compris dans la liste des 16 corps simples signalés par M. de La Bèche, comme les plus répandus à la surface de la terre. Le *fluor* manque, mais on trouve en revanche 4 autres corps assez communs aussi à la surface du globe; le *nickel*, le *cobalt*, le *cuivre*

---

(1) F. Angelot, *Bulletin de la Société géologique de France*, 1re série, t. XI, p. 136; et t. XIV, p. 589.

et le *chrome*. Je ne puis que renvoyer aux ingénieux Mémoires de M. Angelot pour les conclusions à tirer de cette identité des corps simples qui nous sont venus de l'extérieur, avec ceux que notre planète possédait déjà en abondance.

Enfin, j'ai consacré la 12e et dernière colonne de ce tableau à l'indication des corps simples qui entrent généralement dans la composition des corps organisés. Ces corps sont au nombre de 16, et ce sont précisément les mêmes que les 16 corps indiqués d'après M. de La Bèche, dans la 1re colonne du tableau, comme les plus répandus à la surface du globe. Cette identité montre que la surface du globe renferme dans presque toutes ses parties tout ce qui est essentiel à l'existence des êtres organisés; elle fournit un nouvel et frappant exemple de l'harmonie qui existe entre toutes les parties de la nature. Les 16 corps dont il s'agit se trouvant tous soit dans des productions volcaniques, soit dans les eaux minérales, on voit que la nature a pourvu non seulement à l'établissement, mais à la conservation de cette harmonie indispensable. Le globe en vieillissant ne cessera jamais de fournir aux être organisés tous les éléments nécessaires à leur existence.

Après avoir ainsi jeté un premier coup d'œil sur l'ensemble du sujet de cette note, je dois entrer dans un examen plus circonstancié des principaux gîtes métallifères et des circonstances qui paraissent devoir nous en révéler l'origine.

J'ai déjà fait remarquer que la liste des 19 corps simples qui figurent dans les émanations des volcans actuels est en quelque sorte un extrait de la liste des 25 corps simples qui ont été reconnus dans les eaux minérales. Parmi les 19 premiers je n'en trouve en effet que trois, le *cobalt*, le *plomb* et le *selenium* qui ne figurent pas parmi les 25 autres. Or ces trois corps sont si peu abondants dans les émanations volcaniques qu'on ne saurait attacher une grande importance à une telle différence.

Parmi les 25 corps trouvés dans les eaux minérales 9 n'ont pas encore été trouvés dans les émanations volcaniques, ce sont : le *lithium*, le *barium*, le *strontium*, le *magnesium*, le *zinc*, le *phosphore*, l'*iode*, le *brome*, le *fluor*. Cette différence me paraît elle-même peu importante. Elle tient peut-être simplement à ce que les produits des émanations volcaniques sont bien loin d'avoir été l'objet d'analyses chimiques aussi multipliées et aussi soignées que les eaux minérales dont plusieurs chimistes éminents se sont occupés avec un soin minutieux. Tout me conduit à présumer que ces deux listes seront identiques lorsqu'elles seront complètes l'une et l'autre, et je suis d'autant plus porté à le croire que les corps

qui se trouvent dans l'une et dans l'autre se présentent au même état physique et chimique dans les deux classes de produits.

Le soufre possède deux systèmes cristallins, l'un propre au soufre qui a cristallisé par la voie humide, l'autre au soufre fondu qu'on a laissé refroidir. Or le soufre qui cristallise dans les fissures des cratères des volcans cristallise dans le même système cristallin que celui que déposent les sources minérales, et cela est naturel, puisque dans les cratères des volcans le soufre cristallise au milieu d'un dégagement abondant de vapeur d'eau. Le gypse qui cristallise dans les fissures de certains cratères volcaniques est hydraté comme celui qui est déposé par certaines eaux minérales. En un mot les matières qui sont *volcaniques à la manière du soufre* sont des produits de la voie humide, de même que les dépôts des sources thermales sont des produits de la chaleur, et ces deux classes de produits ne diffèrent que par la forme extérieure des phénomènes qui les amènent à la surface du globe. Ils ont au fond la même origine et ne constituent pas deux classes réellement distinctes.

Les vapeurs qui se dégagent, soit des laves qui se refroidissent, soit des fissures des cratères, produisent quelquefois, en se condensant, des filets d'eau chaude chargée de différents sels, qui sont de véritables sources thermales. Un grand nombre de sources thermales ont probablement une origine de ce genre. Elles proviennent, comme les émanations volcaniques, d'une *distillation* ou d'une *sublimation* naturelle. Ce serait une supposition gratuite que d'admettre en géologie la sublimation isolée, la sublimation sèche de telle ou telle substance qui paraît avoir joué un rôle dans un phénomène particulier. La nature actuelle ne nous offre pas d'exemples de phénomènes de ce genre. Mais une sublimation, une distillation, un entraînement moléculaire, ayant la vapeur d'eau ou l'eau condensée pour auxiliaire et pour véhicule, sont des phénomènes dont les exemples abondent sous nos yeux et qui peuvent même avoir été plus fréquents et plus variés encore pendant les périodes géologiques qu'ils ne le sont de nos jours.

Les émanations volcaniques et les sources minérales donnent naissance à différents dépôts. Les vapeurs dégagées par les volcans engendrent les solfatares où se trouvent, avec le *soufre*, des chlorures alcalins et métalliques, de l'hydrochlorate d'ammoniaque, du gypse et d'autres sulfates, etc. Les sources minérales douées de la puissance chimique la moins énergique produisent des dépôts calcaires et ferrugineux. D'autres, chargées de principes plus actifs, produisent des dépôts siliceux ou des dépôts complexes contenant

un grand nombre de substances telles que la *baryte*, la *strontiane*, l'*acide borique*, l'*arsenic*, le *phosphore*, le *soufre*, le *fluor*.

Le plus souvent nous ne voyons que la partie de ces dépôts qui se forme à l'extérieur. Cependant nous pouvons observer aussi les stalactites et les stalagmites auxquelles certaines sources donnent naissance dans différentes grottes et les incrustations que certaines eaux produisent dans les tuyaux de conduite. Il est indubitable que si nous pouvions pénétrer dans les conduits suivis par les sources minérales et par les émanations volcaniques nous les verrions fréquemment incrustés de dépôts analogues. Or ces incrustations auraient nécessairement la plus grande ressemblance, tant pour la composition que pour la forme, avec les filons métalliques ordinaires tels que ceux où le soufre, l'arsenic, le quartz, la baryte sulfatée, la chaux carbonatée jouent un rôle important. Les rapprochements établis ci-dessus entre la liste des corps simples trouvés dans les émanations volcaniques et dans les sources thermales et celle des corps simples trouvés dans les filons ordinaires et la ressemblance des combinaisons dans lesquelles les mêmes corps y sont engagés conduisent naturellement à cette conclusion, qui vient elle-même corroborer l'analogie signalée depuis longtemps dans les relations qui existent d'une part entre les sources minérales et certaines roches éruptives, et de l'autre entre les filons métalliques ordinaires et des roches du même genre.

Une des circonstances qui portent à penser que beaucoup de filons ne sont autre chose que des dépôts opérés par des eaux minérales dans les fissures qu'elles parcouraient, c'est le gisement même de ces filons qui, à prendre la chose dans son ensemble, est tout à fait analogue à celui des eaux minérales. Les eaux minérales, en général, se trouvent plus particulièrement dans les contrées où il y a eu des éruptions volcaniques, ou du moins dans les contrées dans lesquelles le sol est bouleversé. Or, c'est là précisément le gisement général des filons ; ils se trouvent principalement dans les contrées dont le sol est disloqué et ils y sont groupés dans le voisinage des roches éruptives. La différence principale consiste en ce que les sources thermales sont coordonnées à des roches éruptives modernes, tandis que les filons sont coordonnés à des roches éruptives plus anciennes.

On peut même suivre d'une manière plus complète la liaison des gîtes métallifères en général avec les roches éruptives, que celle des eaux minérales avec les roches du même genre. Comme les eaux minérales se rattachent aux roches éruptives les plus modernes, à celles dont les masses intérieures n'ont pas pu être mises à décou-

vert, on voit facilement, quand on examine la disposition des sources minérales sur la surface du globe, comment ces sources sont pour la plupart groupées dans les contrées dans lesquelles il y a eu des éruptions modernes; mais on ne peut pas pénétrer jusque dans l'intérieur pour voir la liaison entre les canaux de ces sources minérales et les points où elles peuvent emprunter aux roches éruptives la chaleur qu'elles possèdent et les matières dont elles sont chargées.

Au contraire, les filons dont la nature et la structure rappellent les dépôts des eaux minérales sont plus visibles que les dépôts formés par les eaux minérales actuelles à cause des bouleversements qu'a éprouvés dans beaucoup de cas le sol qui les renferme, de la destruction partielle de l'ancienne surface de ce sol qui rend visibles des parties situées originairement dans la profondeur et des secours offerts à l'observateur par les travaux des mines qui pénètrent dans leur intérieur. A la vérité, l'analogie de ces filons avec les dépôts des eaux minérales ne peut se conclure que de leur étude minéralogique. Les eaux qui les ont formés n'y circulent plus aujourd'hui, ou si des eaux y circulent encore, elles ne sont plus thermales. Les anciens foyers se sont refroidis, l'activité intérieure a été transportée ailleurs; mais aussi, quand, à la faveur même de leur refroidissement, on examine d'une manière complète la série des gîtes métallifères qui se rattachent à certaines roches éruptives, on voit qu'il y a une liaison très intime entre ces gîtes et les roches éruptives.

En effet les gîtes métallifères ne sont pas tous des filons absolument semblables à ceux dont j'ai signalé les analogies avec les dépôts des eaux minérales; il y a des gîtes métallifères renfermant absolument les mêmes métaux qui se trouvent renfermés dans l'intérieur de certaines roches éruptives ou tout à fait dans leur voisinage, et tous ces gîtes forment une chaîne continue dont les filons réguliers formés par incrustation dans des fissures constituent une extrémité et qui se rattachent à des gîtes tout à fait compris dans l'intérieur des masses minérales éruptives, ou bien situés immédiatement à leur contact et qui en dérivent plus directement encore que par le transport moléculaire dû aux émanations et à l'action des eaux minérales.

Tout le monde sait que les filons sont des fentes remplies après coup; mais on doit distinguer deux classes essentiellement différentes de filons : les uns sont formés par des matières concrétionnées appliquées dans les fentes sur leurs deux parois. Ces substances sont principalement des matières pierreuses ou *gangues*, telles que le quartz, la baryte sulfatée, la chaux carbonatée, souvent

le spath fluor et différents minerais métalliques, tels que la galène, les pyrites, etc. Une autre classe de filons est formée de roches, telles que les basaltes, les mélaphyres, les porphyres, qui se sont introduites aussi dans des fentes. Mais il y a cette différence entre les deux classes de filons, que les premiers sont formés de bandes symétriquement disposées, en général formées de cristaux tournant leurs pointes vers l'intérieur de la fente originaire dont le milieu présente souvent un vide tapissé de cristaux libres, tandis que les filons formés de roches telles que le basalte et le porphyre remplissent entièrement les cavités dans lesquelles ils se trouvent et ne présentent la disposition en bandes symétriques que d'une manière extrêmement peu distincte résultant simplement de ce que les parties moins cristallines des parois se distinguent légèrement des parties plus cristallines du centre, avec lesquelles elles font continuité.

Les filons de cette dernière espèce peuvent être désignés, d'après leur mode de formation bien connu, sous le nom de *filons injectés*. Ils se distinguent généralement des filons de la première classe composés de bandes symétriques, qu'on peut désigner sous le nom de *filons concrétionnés*.

La plupart des filons métallifères appartiennent à la classe des *filons concrétionnés ;* cependant les filons injectés et les masses de formes moins régulières que constituent très souvent les roches éruptives, sont quelquefois métallifères. Ainsi les filons basaltiques renferment presque toujours du fer oxidulé qui y est disséminé en quantité plus ou moins considérable ; si le fer oxidulé avait une valeur plus considérable, égale seulement à celle du minerai d'étain, ils seraient certainement exploités pour en retirer le fer. C'est ce qui arrive en Suède pour la masse de trapp de *Taberg* qui est exploitée comme mine de fer en raison des nombreuses veines de fer oxidulé qui y sont encaissées et qui forment une portion considérable du volume total. Les serpentines sont aussi très fréquemment métallifères. Elles renferment très habituellement du fer oxidulé et du fer chromé ; c'est même là le gisement habituel du fer chromé, et le fer oxidulé y est quelquefois disséminé en assez grande abondance pour leur donner le magnétisme polaire. Quelquefois enfin, au lieu d'y être disséminé en petites parties, ce minerai y forme des masses considérables comme celle qu'on exploite à Cogne dans la vallée d'Aoste.

Il existe même dans différentes contrées des masses de fer oxidulé et de fer oligiste qui peuvent être considérées elles-mêmes comme des roches éruptives. Telles sont notamment celles de l'île d'Elbe

que M. Paul Savi et M. Amédée Burat ont décrites avec soin (1).

Outre ces minerais de fer sortis directement du sein de la terre par voie d'éruption, il en existe d'autres qui par leur gisement se rattachent plus ou moins immédiatement à des roches éruptives et dont la formation a dû être une conséquence plus ou moins directe de leur éruption.

Les mines de fer des Vosges sont très instructives sous ce rapport. Ainsi que je l'ai indiqué ailleurs (2), il y existe en plusieurs points des masses de minerai de fer qui se rattachent plus ou moins directement à des masses éruptives. On exploite notamment à Framont, à la partie septentrionale du département des Vosges, des amas de fer oligiste, que M. De Billy a décrits avec beaucoup de détails et de clarté et qui sont dans une connexion évidente avec des masses de porphyre quartzifère. Il n'est pas sans intérêt de remarquer que les gîtes de minerai de fer de Framont, outre la baryte sulfatée, le quartz, l'arragonite, les pyrites cuivreuses et autres minéraux plus ou moins habituels dans les filons ordinaires, renferment aussi de la *phénakite* (*silicate de glucine*), qui établit entre eux et les filons stannifères un rapprochement correspondant à celui qui existe entre les porphyres quartzifères et les granites.

A quelque distance de Framont, se trouvent des filons de minerai de fer, qui probablement se rattachent indirectement aux mêmes roches éruptives, et dans plusieurs autres points des Vosges on trouve d'autres filons du même genre, qui tous ont probablement un point de départ plus ou moins analogue à celui des minerais de fer de Framont. Ainsi, dans le nord des Vosges, dans le voisinage de Bergzabern et de Schoënau, on trouve des filons de fer hématite brun qui renferment en même temps du plomb phosphaté, de la calamine, etc.

Le cuivre se trouve aussi bien que le fer dans l'intérieur des roches éruptives ou dans leur voisinage immédiat. On le rencontre souvent à l'état natif ou sous forme de pyrites dans les serpentines ainsi que dans certaines roches trappéennes. Il est quelquefois accompagné par l'argent. L'un des plus beaux exemples qu'on puisse citer à cet égard se trouve dans les gisements de cuivre qui ont été explorés et décrits par M. le docteur Charles T. Jackson, de Boston. Ils sont situés sur les bords du lac Supérieur, notamment

---

(1) A. Burat, *Géologie appliquée et description des gîtes métallifères.*

(2) *Explication de la carte géologique de France*, t. I, p. 423, et *Annales des mines*, 1re série, t. VII, p. 526.

à Kewenah-point et dans l'Ile-Royale. Là, le cuivre se trouve disséminé dans les roches trappéennes, en globules et en assez gros blocs; il est accompagné de globules d'argent qui sont isolés, soit au milieu de la roche, soit au milieu du cuivre, avec lequel (chose singulière) l'argent ne s'est pas allié. Dans le voisinage de ces roches trappéennes, on trouve encore le cuivre et l'argent natifs, ainsi que la pyrite cuivreuse, dans des filons qui coupent, soit les roches trappéennes elles-mêmes, soit les roches arénacées, au milieu desquelles les premières ont pénétré. Les gangues de ces filons sont remarquables par leur nature exceptionnelle. On y remarque tantôt la *datholite* (chaux boratée siliceuse), tantôt l'*épidote*.

L'Oural présente aussi plusieurs gisements de cuivre dans des roches éruptives ou dans leur voisinage immédiat; telles sont les mines de Turjinsk. Le cuivre natif et les autres minerais s'y trouvent toujours près des lignes de contact de masses nombreuses de diorites, et des calcaires au milieu desquelles les diorites ont pénétré. Ils sont accompagnés en beaucoup de points de grandes masses de grenat qui séparent les diorites des calcaires, et qui, suivant toute apparence, ont été produites par l'action des premiers sur les seconds.

Une des contrées les plus intéressantes sous le rapport des gîtes métallifères renfermés dans les roches éruptives ou en contact immédiat avec elles, c'est la Toscane. On y trouve un grand nombre de gîtes métallifères, particulièrement de gîtes cuprifères, exploités par les anciens comme mines de cuivre. La pyrite cuivreuse est le minerai le plus répandu; elle est accompagnée de cuivre panaché, de cuivre natif, de cuivre oxydulé, de cuivre gris; on y rencontre aussi de la blende, de la galène, etc. Les minerais de cuivre sont quelquefois répandus dans la roche serpentineuse de manière à faire corps avec elle; d'autres fois, ils sont placés au contact de la roche serpentineuse avec les roches adjacentes; on voit qu'ils ont été apportés par la roche serpentineuse de manière à être mêlés avec les débris produits par son éruption, qui ont formé à la surface de la masse un conglomérat de frottement. M. Amédée Burat a décrit tous ces gisements avec beaucoup de soin (1).

Les roches éruptives volcaniques et basiques sont tellement un des gisements essentiels des métaux, qu'il en est plusieurs aux-

(1) Amédée Burat, *Géologie appliquée et théorie des gîtes métallifères.*

quels on ne peut presque pas assigner d'autre gisement propre que certaines roches de cette nature, dans lesquelles on les a trouvés disséminés. Tels sont le platine et les métaux qui lui sont habituellement associés, le *palladium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium* et l'*osmium*. Ces métaux, qui forment, dans la série des corps simples, une sorte de famille particulière, se rencontrent généralement ensemble. On les recueille ordinairement dans les terrains de transport superficiels; mais quelquefois on est parvenu à trouver leurs gîtes originaires. Ainsi, M. Boussingault a découvert le gisement du platine exploité dans la province de Choco (Nouvelle-Grenade). Il a trouvé un filon de grünstein qui traverse la base des Cordillères, et dans lequel le platine existe à l'état de grains métalliques renfermés au milieu de la roche éruptive.

On exploite aussi des alluvions platinifères dans l'Oural; il paraît que le gisement primitif du platine qu'elles renferment est dans des roches serpentineuses. On rencontre dans les lavages de platine une grande quantité de fer chromé, minéral qui se trouve ordinairement dans les serpentines; de plus, M. Gustave Rose a indiqué l'existence de grains de platine enchâssés dans le fer chromé, et M. Le Play a observé une connexion très directe entre la disposition des alluvions platinifères et celle des masses serpentineuses. Il a même réussi à obtenir le platine en lavant certaines terres qui résultent de la décomposition des masses serpentineuses. Il paraît que le platine sort de ces masses serpentineuses, mais qu'il y est excessivement disséminé: on ne peut parvenir à le recueillir que dans les points où il a été concentré par l'effet d'un lavage naturel qui a enlevé en grande proportion les substances accompagnantes et laissé le platine sur le lieu même de la désagrégation de la masse qui le contenait, à cause de sa grande pesanteur spécifique.

Le platine et les métaux qui l'accompagnent existent donc dans les roches éruptives. Mais il y a cette différence entre eux et la plupart des autres métaux qu'on rencontre également dans les roches éruptives, qu'on ne trouve guère les premiers que dans les roches éruptives mêmes ou dans les produits de leur désagrégation; et qu'on ne les voit que très rarement former des filons ou d'autres gîtes à l'entour de ces mêmes roches. Cela tient probablement à ce que le platine et les métaux qui l'accompagnent sont trop faciles à réduire à l'état métallique, et qu'ils entrent trop rarement dans des combinaisons stables avec des corps étrangers à leur famille. La facilité avec laquelle se réduisent les oxydes de cuivre et d'argent explique de la même manière pourquoi on trouve aussi

très fréquemment ces métaux à l'état natif dans les roches éruptives. Il ne saurait en être de même par exemple du fer, qui, à une température élevée, ne peut manquer de s'oxyder aux dépens de l'oxygène de l'eau qui, à l'état liquide ou à l'état de vapeur, existe toujours en abondance dans les laboratoires volcaniques.

La diversité des propriétés chimiques des différents métaux permet donc de concevoir assez aisément pourquoi le platine et les métaux qui l'accompagnent sont presque uniquement concentrés dans les roches éruptives qui les recèlent, tandis que le fer, le cuivre, l'argent, le plomb, se sont répandus dans les masses au milieu desquelles les roches métallifères ont fait éruption et s'y sont répandus souvent jusqu'à des distances considérables.

Tous ces métaux étant sujets à se trouver dans les roches éruptives, et se rencontrant aussi quelquefois en dehors de ces roches, dans les masses qui sont immédiatement en contact avec elles, il est difficile de douter que, dans ce cas, ils aient été introduits par l'effet même de l'éruption de la roche qui en renferme; cela paraît d'autant plus vraisemblable que lorsqu'ils se trouvent dans la roche éruptive ils sont ordinairement concentrés, surtout près de sa surface, ce qui semble annoncer que le phénomène qui les a fait pénétrer à l'extérieur, est la suite et la continuation de celui qui les a portés d'abord de l'intérieur de la masse éruptive vers sa périphérie. Et puisque les masses éruptives renferment quelquefois des métaux et les introduisent dans les terrains où elles pénètrent, il n'y a rien en soi-même d'étonnant à ce qu'on trouve des métaux dans les filons ordinaires formés de substances concrétionnées qui sont cantonnés à l'entour de ces mêmes roches éruptives; car, quoique ces filons concrétionnés et les roches éruptives forment deux classes de masses minérales tout à fait distinctes, on ne peut nier qu'il n'y ait entre elles une liaison qui se manifeste, d'une part par la coordination de leurs gisements, et de l'autre par l'identité même des substances métalliques qui se trouvent à la fois dans les unes et les autres. On est donc très naturellement conduit à penser que les substances métalliques contenues dans les filons d'incrustation proviennent en principe de roches éruptives; seulement elles ne paraissent pas y avoir été introduites tout à fait de la même manière que les roches éruptives se sont introduites elles-mêmes dans le terrain ou que les minerais se sont introduits, de la roche éruptive, dans les roches immédiatement adjacentes. Ils s'y sont probablement introduits par une voie pour ainsi dire détournée, le plus souvent par un phénomène analogue à celui des eaux minérales, analogue à celui des dépôts que les eaux minérales for-

ment au point où nous les voyons sortir, et qu'elles doivent aussi former dans les canaux qu'elles parcourent.

En effet, si l'on cherche à se faire en quelque sorte *à priori* une idée de la manière dont a pu s'opérer cette diffusion des substances métalliques autour des points d'éruption des roches métallifères, il est naturel de considérer ce qui se passe dans les volcans, dont les émanations renferment encore aujourd'hui un certain nombre de métaux indiqués dans la neuvième colonne du tableau placé à la fin de cette note, le *fer*, le *manganèse*, le *cobalt*, le *plomb*, le *cuivre*, l'*arsenic*.

Le fer, sous forme de chlorure, qui se change souvent en fer oligiste, est au nombre des substances les plus abondantes dans les émanations volcaniques actuelles; le fer oxydulé est habituellement disséminé dans les laves rejetées par les volcans, et on ne peut douter qu'il n'en existe aussi dans les laves, qui peuvent se consolider à la suite des éruptions volcaniques dans des cavités souterraines. Il doit nécessairement se déposer du fer à l'état d'oxyde ou de chlorure dans les fissures que les émanations volcaniques traversent avant d'arriver à la surface. De là, des filons qui se rattachent, dans l'intérieur du sol, à des masses éruptives renfermant du fer.

Le cuivre étant un des métaux qui se rencontrent dans les émanations volcaniques, on peut faire à son sujet des conjectures analogues en remarquant qu'en raison de la plus facile réduction de son oxyde, il est naturel qu'il se trouve en globules métalliques dans les roches éruptives d'où se sont dégagées des émanations cuprifères.

On est fondé à faire des suppositions du même genre relativement à tous les métaux dont la présence a été constatée dans les émanations volcaniques, et à ceux qui ont été reconnus dans les eaux minérales, c'est-à-dire relativement à presque tous les métaux qui se trouvent dans les filons ordinaires.

Ces suppositions sont d'autant plus vraisemblables qu'un grand nombre d'eaux thermales semblent n'être qu'une forme particulière des émanations volcaniques, et que les filons, ainsi que je l'ai déjà rappelé, présentent dans leurs gisements de nombreuses analogies avec les eaux minérales, en raison de ce qu'ils se trouvent aussi de préférence dans des contrées dont le sol a été bouleversé, et se groupent autour de certaines roches éruptives anciennes, comme les eaux thermales se groupent autour des roches éruptives modernes et autour des volcans en activité.

Certaines sources thermales, qui sont en même temps des jets de vapeur comparables à ceux qui se dégagent des volcans en

éruption, comme les *geysers* de l'Islande, si bien étudiés par un grand nombre de voyageurs, et particulièrement par M. Eugène Robert et par M. Descloiseaux, montrent bien clairement la liaison des deux genres de phénomènes. La supposition à laquelle conduisent les observations de M. Descloiseaux (1) pour expliquer les phénomènes que présentent les geysers de l'Islande, explique aussi de la manière la plus plausible la diffusion des substances métallifères autour des centres éruptifs. Toutes les substances qui émanent des masses éruptives s'en dégagent à l'état de vapeur; mais lorsque ces vapeurs ont à parcourir de longs canaux ou de longues fissures avant de se répandre dans l'atmosphère, elles doivent se condenser dans les parties de ces conduits qui sont les plus éloignés du centre d'émanation. Par suite de cette condensation il s'est passé, dans la partie supérieure des filons, un phénomène analogue à celui de l'écoulement des eaux minérales par leurs canaux et il s'est formé des dépôts sur les deux parois des filons; mais, dans la partie inférieure qui avoisine les masses éruptives avec lesquelles le filon se trouve en connexion, toutes les émanations ont dû être d'abord volatilisées.

Cette supposition d'une volatilisation initiale de toutes les substances métalliques qui se trouvent dans les filons ordinaires, s'adapte d'autant mieux aux faits, que, dans ces filons, les métaux proprement dits se trouvent beaucoup moins fréquemment unis à l'oxygène qu'à des corps simples auxquels on a donné depuis longtemps le nom de *minéralisateurs*, tels que le *soufre*, le *sélénium*, l'*arsenic*, le *phosphore*, l'*antimoine*, le *tellure*, le *chlore*, l'*iode* et le *brome*. Ces corps-là non seulement sont généralement volatils, de même que le *bismuth* qui les accompagne fréquemment; mais ils ont encore la propriété de rendre volatils beaucoup des corps avec lesquels ils se combinent. Il serait difficile de croire que cette propriété si remarquable n'ait pas joué un certain rôle dans la production des filons. Ces mêmes corps sont en même temps du nombre de ceux qui se trouvent dans les émanations volcaniques ainsi que dans les sources thermales, et leur présence dans les filons contribue à corroborer les rapprochements déjà signalés entre les filons, les émanations volcaniques et les eaux minérales.

Il est difficile de croire que, dans ces différents cas, ces *minéralisateurs* n'aient pas joué à peu près le même rôle : tous ces phénomènes-là paraissent se tenir très intimement, et la nature même

(1) Voyez dans le présent volume du *Bulletin*, p. 550, et *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XIX, p. 444.

des corps mis en jeu indique leur liaison. On conçoit par là les rapports qui peuvent exister entre les filons ordinaires et ces gîtes particuliers que j'ai déjà cités, dans lesquels les substances métalliques se trouvent concentrées près de la surface de certaines masses minérales, où ils constituent ce qu'on a souvent appelé des *filons de contact*. Les émanations qui sortaient de l'intérieur des masses éruptives ont entraîné les métaux volatilisés vers leur surface. Près de cette surface en partie refroidie, ces métaux ont pu se condenser en partie aussi, soit dans la roche éruptive elle-même, soit dans celles au milieu desquelles celle-ci avait fait éruption. Une partie seulement a été entraînée au loin avec la vapeur d'eau et les substances les plus volatiles, qui ont formé à la surface des *geysers*, des *suffioni* ou des sources minérales.

La supposition de la présence d'une grande quantité de vapeur d'eau dans les points où s'opéraient ces sublimations intérieures, est la seule qui s'écarte des hypothèses les plus généralement admises; mais cette supposition n'a rien qui soit en contradiction avec les faits connus: elle se réduit à dire que les minerais métalliques contenus dans les filons ordinaires peuvent être généralement considérés comme *volcaniques à la manière du soufre*. On est conduit à penser que les choses ont dû se passer ainsi, puisque c'est ainsi que les choses ont lieu dans les volcans, où tout se passe dans un milieu saturé de différents corps, et principalement de vapeur d'eau, et probablement aussi dans les sources minérales, qui sont un phénomène fort analogue, qui sont des volcans réduits, pour ainsi dire, à la partie aqueuse.

L'aspect métallique de la plupart des combinaisons des métaux avec les minéralisateurs, et la ressemblance que cet aspect leur donne avec les produits des opérations métallurgiques, semble autoriser la supposition que ces combinaisons sont dues à la seule action de la chaleur, et cette supposition semblerait confirmée par l'hypothèse qui attribue aux minéralisateurs le rôle d'agents de volatilisation. Mais il faut remarquer que plusieurs des combinaisons dont il s'agit se décomposent lorsqu'on les chauffe fortement. On voit sans doute certains sulfures se former ou se sublimer dans les fourneaux métallurgiques; mais d'autres sulfures, tels que les pyrites de fer qui sont si répandues dans les filons, se forment journellement sous nos yeux au sein des eaux, et même dans des eaux à la température ordinaire.

L'explication que M. Ebelmen a donnée récemment de la formation journalière des pyrites de fer, servira à faire comprendre que les actions chimiques mises en jeu dans la formation des mi-

nerais métalliques contenus dans les filons, ont dépendu plutôt des propriétés que les métaux et les minéralisateurs manifestent par la voie humide, que de celles qui président aux phénomènes de la voie sèche.

Dans beaucoup de cas, dit cet habile chimiste, la formation de la pyrite est due à la réaction des matières organiques en décomposition sur les sulfates alcalins ou terreux contenus dans les eaux marines, en présence de limons ferrugineux. « La formule de cette » réaction (dans laquelle M. Ebelmen ne fait intervenir que le » carbone de la matière organique) est la suivante :

$$2F^2O^3 + 8SO^3CaO + 15C = 4F.S^2 + 8CaOCO^2 + 7CO^2$$

» Les $\frac{8}{15}$ de carbone de la matière organique se précipitent à » l'état de carbonate de chaux ; le reste se trouve restitué à l'at- » mosphère à l'état d'acide carbonique. Les 15 équivalents de » carbone avaient abandonné 30 équivalents d'oxygène avant de » passer dans l'organisation. Toute cette quantité d'oxygène reste » définitivement acquise à l'atmosphère. » La quantité totale d'oxygène contenue actuellement dans l'air correspond à peine à 50 centimètres d'épaisseur de pyrite, ce qui permet de concevoir, comme l'a remarqué M. Ebelmen, que la formation des pyrites est encore et a été pendant toutes les périodes géologiques, une partie importante du mécanisme que la nature a employé pour maintenir l'atmosphère dans sa composition normale.

S'il en est ainsi, il est naturel d'admettre que la formation de la pyrite peut se continuer encore aujourd'hui sur une grande échelle à la surface du globe, et rien n'empêche de concevoir que des phénomènes plus ou moins analogues produisent des pyrites dans l'intérieur des fissures où circulent les eaux minérales. On pourrait objecter qu'abstraction faite de la glairine ou de la barégine, il n'existe pas de matière organique dans les eaux thermales qui circulent dans les fissures profondes de l'écorce terrestre. Mais il faut remarquer que dans le phénomène auquel s'adapte l'explication de M. Ebelmen, l'intervention de la matière organique n'a d'autre effet que de mettre en présence le fer et le soufre à l'état naissant. Or, dans les eaux qui contiennent de l'hydrogène sulfuré avec des sels de fer et beaucoup d'autres sels, diverses réactions peuvent aussi mettre en contact et le fer et le soufre à l'état naissant ; et on peut conjecturer que cela arrive en effet, lorqu'on voit que les eaux thermales de Chaudesaigues, dans le Cantal, déposent des pyrites.

J'ajouterai que probablement ce ne sont pas seulement les pyrites de fer qui sont susceptibles de se former de cette manière; car les minerais de cuivre qui s'exploitent dans le terrain permien, au pied occidental de l'Oural, se sont concentrés principalement au contact des matières végétales déposées dans ce terrain, et ces minerais sont formés en partie de pyrites cuivreuses. Les minerais de cuivre des environs de Perm, au pied occidental de l'Oural méridional, se trouvent très fréquemment, dit M. Murchison, arrangés dans les interstices ou groupés autour de la surface des tiges et des branches des végétaux fossiles (à l'état charbonneux). Ils présentent des passages du cuivre oxydulé au *cuivre sulfuré* gris ou à la *pyrite cuivreuse*, et quelquefois aux plus belles variétés de la malachite aciculaire, d'un vert éclatant, mêlée de cristaux de minerai bleu (*Kohlen-Salz Kupfer*) (1).

Plusieurs gisements de galène et de blende sembleraient indiquer des réactions semblables, et on ne voit pas pourquoi d'autres minéralisateurs que le soufre n'auraient pas donné lieu à des phénomènes du même genre. On peut citer, au contraire, les schistes cuivreux de la Thuringe comme offrant une preuve de la variété des combinaisons métalliques qui ont pu se produire par la voie humide, avec ou sans le concours des substances organiques. Dans le Kupfer-Schiefer, on trouve répandus en particules très fines et souvent invisibles à l'œil nu, des minerais de cuivre en grains cristallisés ou en veinules. Ce sont ordinairement le cuivre pyriteux, quelquefois le cuivre sulfuré, rarement le cuivre natif, le cuivre gris, le cuivre carbonaté, le cuivre oxydulé. Ces minerais de cuivre sont *argentifères*. On y trouve en même temps des pyrites ferrugineuses, quelquefois des minerais de zinc, de plomb, de cobalt, de nickel, d'antimoine, de bismuth, d'arsenic, des veinules de spath calcaire et de gypse, de petites géodes de quartz, de petits feuillets de houille et d'anthracite.

Ces substances charbonneuses proviennent des matières organiques qui ont probablement joué ici le même rôle que dans l'Oural; les petites géodes de quartz, qui ne forment qu'une partie très peu importante de la masse, représentent seules les gangues ordinaires des filons. Ce qui confirme la supposition que des réactions chimiques, telles que celles qui ont pu être exercées par les substances organiques, ont dû contribuer à précipiter les minerais métalliques

(1) Murchison, de Verneuil et Keyserling, *Russia in Europa and the ural mountains*, t. I, p. 144.

dans les couches où on les rencontre, c'est que dans les exemples qui viennent d'être cités, ils s'y sont déposés sans leurs gangues habituelles; mais ils s'y sont déposés dans le même état de combinaison que dans les filons; ce qui prouve que, dans les filons, ils se déposent par la voie humide.

Les substances métalliques sont plus sujettes à se trouver oxydées dans certains filons ou dans certaines parties des filons que dans d'autres. Ce fait bien connu conduit à un nouveau rapprochement avec les phénomènes propres aux eaux minérales.

Le globe terrestre donne naissance à des émanations très variées qui toutes se ressentent, mais à des degrés inégaux, de sa haute température intérieure et de l'activité qui y règne encore. Citons seulement les sources ordinaires d'une température constante et les vapeurs dont elles s'entourent en hiver, les jets de gaz inflammables, les sources de bitume, les sources minérales et thermales à toutes sortes de températures comprises entre 0° et 100° centigrades, les geysers, les suffioni et les lagoni de la Toscane, les étuves de Néron, les vapeurs qui sortent des volcans en éruption, les solfatares.

On peut distinguer deux espèces de sources thermales. Il y en a qui, comme les geysers, émanent de roches éruptives qui ne sont pas encore refroidies, tandis que les autres ne doivent leur chaleur qu'au phénomène général de la haute température de l'intérieur de la terre.

Les sources minérales sont généralement disposées par groupes, dans chacun desquels existent une ou plusieurs sources thermales principales qui pourraient être considérées comme des volcans privés de la faculté d'émettre aucun autre produit que des émanations gazeuses qui, dans le plus grand nombre des cas, n'arrivent à la surface que condensées en eau minérale ou thermale.

Ces sources thermales principales sont généralement accompagnées d'autres sources moins chaudes, et ces dernières ne sont souvent que des eaux superficielles qui, après être descendues dans les fissures d'un terrain plus ou moins disloqué, remontent pénétrées d'une chaleur qu'elles ont empruntée au sol réchauffé par le foyer même de la source thermale principale, ou simplement imprégné de la chaleur croissante avec la profondeur que le sol possède partout; ces dernières ne sont en quelque sorte que des puits artésiens naturels.

Les travaux lumineux de M. de Buch, et ceux plus récents et plus étendus de M. le professeur Bishof, ont répandu de précieuses lumières sur ce groupement des sources minérales; mais je dois

renvoyer à leurs savants ouvrages pour ce sujet, devenu aujourd'hui une branche importante de la géologie.

On aurait bien de la peine à expliquer les sources thermales principales, si on admettait que les eaux qui les composent descendent à une profondeur où se trouverait aujourd'hui, d'après l'accroissement ordinaire de la chaleur intérieure, la température nécessaire pour les réduire en vapeur et qu'elles remontent ensuite. Il est probable que les sources thermales les plus chaudes, les sources thermales principales émanent directement de roches éruptives ; mais les sources thermales accompagnantes peuvent être considérées comme résultant de l'eau qui descend de la surface dans les fissures et remonte à la surface du sol. Ce trajet suffit pour qu'elles se chargent de beaucoup de substances minérales ; et quoique ces sources en soient moins chargées que les sources thermales principales, elles en renferment cependant un grand nombre.

Il y a eu quelque chose d'analogue dans la formation des filons. Les sources thermales du second genre doivent se former non seulement dans les fissures ordinaires, mais aussi dans celles qui précédemment avaient été remplies par les masses des filons. Les eaux qui descendent ainsi de la surface du sol dans l'intérieur, pour remonter, descendent chargées d'air atmosphérique, par conséquent avec de l'oxygène. Au contraire, les sources qui se dégagent de l'intérieur de la terre n'ont pas la propriété d'oxyder, du moins au même degré. Voilà comment on expliquerait une circonstance extrêmement générale dans les filons : c'est que, dans la masse générale des filons, la plupart des minéraux ont échappé plus ou moins complétement à l'action de l'oxygène. Au contraire, dans le voisinage de la surface, jusqu'à une certaine distance, ils sont oxydés, et ils présentent, par suite de l'oxydation du fer, une teinte ocreuse qui a fait donner à cette partie, par les mineurs allemands, le nom d'*eiserner-hut* (chapeau de fer). Ce fait si général tend à prouver que les filons ont été formés primitivement par des sources thermales profondes. S'ils avaient été formés par les eaux superficielles et aérées, ils se seraient formés *oxydés*, au lieu d'avoir à s'oxyder après coup. Les sources descendues de la surface qui sont venues plus tard s'y échauffer et s'y minéraliser, y ont produit les phénomènes d'oxydation que je viens de rappeler, et peut-être une grande partie des phénomène d'épigénie que M. Haidinger a si savamment étudiés, et même quelques uns des transports moléculaires qui ont concentré après coup dans certaines zones une partie des richesses métalliques.

Un fait analogue à la formation non oxydée des filons et à leur

oxydation subséquente s'observe dans les volcans : les substances volatiles en sortent le plus souvent non oxydées et elles s'oxydent au contact de l'atmosphère. Ainsi, le fer sort à l'état de chlorure ; mais il finit par se transformer en fer oligiste. L'hydrogène sulfuré sort des volcans non brûlé ; mais, au contact de l'air il brûle lentement et dépose du soufre, ou bien il brûle avec flamme et produit de l'acide sulfureux et de l'eau. Les flammes qui se montrent quelquefois à la surface des volcans sont, pour ainsi parler, l'*eisernen-hut* d'un filon d'hydrogène sulfuré. Ce qui arrive pour les émanations actuelles des volcans, est arrivé aussi pour les anciennes émanations.

On voit, de cette manière, comment les deux phénomènes s'expliquent, et comment l'état des filons conduit à présumer que les substances non oxydées qui les remplissent en partie viennent de l'intérieur de la terre et ont été apportées par les sources thermales principales ou par des vapeurs émanant directement des roches éruptives non refroidies.

Si le dépôt des substances métalliques dans les filons ordinaires est dû à des phénomènes qui ont présenté les plus grands rapports, sinon une identité complète, avec ceux des émanations volcaniques et des sources minérales, on doit pouvoir comparer aussi les filons aux phénomènes volcaniques et aux sources minérales, relativement aux matières pierreuses qui, sous le nom de *gangues*, en forment une partie essentielle. Cette comparaison ne se présente pas aussi simplement pour ces dernières que pour les matières métalliques, parce qu'on ne voit que rarement des substances qui jouent, à l'égard des matières pierreuses le rôle que les minéralisateurs par rapport aux métaux.

Cependant, certaines substances pierreuses sont susceptibles d'être volatilisées par la chaleur des volcans, ou entraînées à l'état moléculaire par des courants gazeux. On cite des cristaux de pyroxène qui ont été sublimés sur la surface d'un mur au contact des laves du Vésuve qui ont couvert Torre del Greco en 1794. On sait aussi que les cristaux de feldspath trouvés dans un fourneau à Sangershausen, en Saxe, avaient cristallisé dans des fissures où leurs éléments devaient avoir été entraînés par les courants gazeux du fourneau. Mais il ne paraît pas que les matières pierreuses aient pu être entraînées de cette manière à une aussi grande distance que les métaux l'ont été par les minéralisateurs. On ne voit guère qu'un pareil entraînement ait pu avoir lieu, si ce n'est par l'entremise de quelque corps tel que le fluor qui rend le silicium et le bore volatils, et qui a pu, comme l'a remarqué depuis longtemps

M. Daubree, exercer une grande influence dans la formation de quelques filons, en jouant, par rapport à certaines matières pierreuses, un rôle analogue à celui que les minéralisateurs jouent par rapport aux métaux. Je suis très porté à croire que des substances propres à opérer la volatilisation de substances pierreuses et même de silicates, et à favoriser leur transport moléculaire bien au-delà des limites que la seule action de la chaleur n'aurait pu leur faire franchir, doivent avoir joué un grand rôle dans la production de certains gîtes très remarquables et très connus de substances pierreuses, telles que les filons de l'Oisans, du Mont-Blanc, du Saint-Gothard, où se trouvent les cristaux si connus d'épidote, d'axinite, de titane, d'albite, de prehnite, etc.; mais les phénomènes dont il s'agit n'ont pas eu une bien grande généralité, car les gîtes que je viens de citer sont d'une nature exceptionnelle.

M. Léopold de Buch a remarqué depuis longtemps que les mélaphyres sont généralement accompagnés d'une auréole de filons dont les uns sont caractérisés par la baryte sulfatée et un grand nombre de minerais métalliques, tandis que les autres le sont par l'épidote. Les variolites du Drac, très répandues dans l'Oisans, rentrent, sous ce rapport, dans la catégorie des mélaphyres épidotifères. Mais M. de Buch, avec son tact ordinaire, a distingué ces deux classes d'émanations, et il est certain que l'épidote, comme presque tous les silicates, est au moins très rare parmi les gangues des filons ordinaires, dans la formation desquels les matières pierreuses volatilisées, soit par la seule action de la chaleur, soit par l'intermédiaire de quelque substance particulière telle que le fluor, paraissent n'avoir joué qu'un rôle très restreint.

La nature des matières pierreuses au milieu desquelles se trouvent les métaux dans les différents gîtes que nous venons de passer en revue, est parfaitement en harmonie avec les remarques qui précèdent. Lorsque les métaux sont renfermés dans les roches éruptives elles-mêmes, ils y sont simplement empâtés : il n'y a pas là de substances concomitantes, de *gangues* proprement dites. Lorsqu'ils se trouvent engagés dans les roches adjacentes à la roche éruptive, quelquefois, comme dans plusieurs des gîtes de la Toscane, si bien décrits dans les ouvrages déjà cités de M. Amédée Burat, les minerais métalliques sont renfermés dans les conglomérats de frottement qui se sont formés sur la surface extérieure des masses éruptives, ou dans les roches stratifiées (*gabri*) qui sont devenues métamorphiques par l'effet du contact de ces mêmes roches. Ils sont encore privés du cortége des *gangues* proprement dites.

Ailleurs les matières métalliques qui se sont portées de la masse éruptive dans les masses adjacentes, sont accompagnées de silicates qui paraissent s'être formés au moment de leur introduction. Les silicates sont généralement des produits de la voie sèche, et on pourrait au premier abord s'étonner qu'il s'en soit formé dans de telles circonstances, car les vides qui peuvent exister pendant le refroidissement d'une masse de roches injectées, le long de sa surface, sont des *étuves* saturées de vapeur et ce qui s'y passe ne s'opère pas plus par la voie sèche, que ce qui se passe dans les fissures du cratère d'un volcan; mais la température y est très élevée, ce qui fait que des silicates peuvent s'y former. Ainsi dans la mine de Turjinsck, dans l'Oural, observée par M. de Humboldt et M. Gustave Rose, les minerais métalliques accompagnent des masses de silicates (*grenats*) formés au contact de la roche éruptive (diorite) et des roches sédimentaires. Dans certains gîtes particuliers de la Toscane, décrits aussi par M. Amédée Burat, les minerais métalliques ont pénétré dans les fissures des roches stratifiées où on les trouve encore accompagnées de silicates avec lesquels ils se sont consolidés. Tels sont, par exemple, certains filons cuprifères et plombifères qui se sont formés par suite de phénomènes éruptifs opérés au milieu de roches calcaires. Là, les matières éruptives ont pénétré dans les roches calcaires, y ont rempli les fentes, se sont combinées avec elles, ont donné naissance à des minéraux particuliers, par exemple à de l'yénite, qui est un silicate de chaux et de fer. On trouve en outre, dans ces mêmes filons, de l'amphibole vert cristallisé en groupes radiés avec de la pyrite cuivreuse au centre. On voit donc très bien que ces filons ont été formés dans des circonstances propres à la production des silicates. L'yénite et l'amphibole, en se formant par la combinaison des matières siliceuses et ferrugineuses des roches éruptives, qui renfermaient la silice et l'oxyde de fer nécessaires, avec les roches calcaires, ont constitué naturellement des bandes grossièrement parallèles, de manière que, par exception, on retrouve la disposition en bandes parallèles qui caractérise les filons d'incrustation.

Il est donc probable que les matières qui ont dû se combiner avec les éléments du terrain pour composer ces silicates ont été quelquefois introduites dans les fentes sous forme de roche éruptive; mais on pourrait supposer aussi qu'elles y ont été introduites par voie de sublimation, ainsi que nous venons d'en rappeler la possibilité. Ce qu'il y a de certain, c'est que les phénomènes qui ont présidé à la formation de ces filons doivent être d'une nature exceptionnelle; car les matières qui composent les gangues dans ces diverses circon-

stances, rappellent les roches éruptives qui se composent essentiellement de silicates, et ces roches sont toujours à une petite distance des gîtes métallifères dont nous venons de parler.

Au contraire, dans les filons ordinaires, qui s'étendent généralement jusqu'à une grande distance des roches éruptives avec lesquelles ils paraissent être en rapport, les métaux sont accompagnés par une grande quantité de substances pierreuses concomitantes auxquelles on donne proprement le nom de *gangues*, et qui sont d'une nature tout à fait distincte de celle des roches éruptives elles-mêmes. Elles sont souvent formées en partie, à la vérité, des mêmes éléments que les silicates dont les roches éruptives se composent; mais cette identité de quelques uns des principes constituants ne rend que plus évidente la différence de leur nature. Les éléments analogues se trouvent dans un état de combinaison tout différent : ils sont séparés au lieu d'être combinés. Les roches éruptives se composent de silice, d'alumine et de différents alcalis tels que la potasse et la soude, ainsi que de chaux, de magnésie et d'oxyde de fer. Une partie de ces substances-là entre habituellement dans la composition des gangues des filons ordinaires, mais jamais à l'état de silicates anhydres, très rarement à l'état de zéolithes et de chlorite, ou de silicates hydratés, et le plus souvent dans un état très différent. La silice s'y trouve isolée à l'état de quartz. La chaux, la magnésie, l'oxyde de fer quelquefois accompagné d'une petite proportion d'oxyde de manganèse, s'y trouvent à l'état de carbonates simples ou de carbonates multiples, comme la dolomie et le *braun spath*. On y trouve aussi le fer et la manganèse à différents états d'oxydation.

Ces divers états des substances dont il s'agit sont analogues à ceux dans lesquels ils se trouvent dans les terrains sédimentaires et dans les eaux minérales, et l'analogie avec ces dernières est d'autant plus remarquable, que très souvent aussi, les gangues sont formées de baryte sulfatée et de spath fluor, substances dont la présence a été constatée dans les eaux minérales, et qui ne sont connues nulle part sous la forme de masses éruptives.

La silice, la chaux, la magnésie, les oxydes de fer et de manganèse contenus dans les gangues des filons, de même que dans les eaux minérales ne sont pas nécessairement des émanations des roches éruptives. Ces substances peuvent très bien provenir, comme l'a annoncé M. Bishof (1), de la décomposition de roches

(1) Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*, t. Ier.

traversées par les émanations souterraines, et le phénomène qui a transporté ces substances, au lieu de les combiner comme dans les roches éruptives, les a, au contraire, décombinées, séparées, décomposées.

Les substances qui accompagnent les minerais dans les filons métalliques, sont précisément celles qui sont habituellement emportées lorsque les silicates des roches éruptives sont décomposées par la voie humide. La silice existe dans la plupart des eaux minérales et sa présence explique l'origine des kaolins et celle des argiles lithomarges si fréquentes dans les filons. L'alumine, qui n'est soluble ni dans l'eau pure, ni dans l'eau chargée d'acide carbonique, n'existe d'une manière habituelle dans les filons que dans les argiles lithomarges; car les minéraux qui tiennent de l'alumine en combinaison, comme certaines zéolithes, le plomb-gomme, etc., y sont extrêmement rares. On y trouve aussi, comme je l'ai déjà rappelé, de la baryte sulfatée et du spath fluor, substances connues dans les eaux minérales; et, abstraction faite de quelques rares zéolithes, on n'y rencontre ni la potasse, ni la soude qui ont pu provenir de la décomposition des roches éruptives. Cela tient à ce que ces alcalis ont formé des composés trop solubles. Dans l'état actuel des choses, ces substances sont au nombre de celles qui se trouvent dans les eaux thermales qui arrivent à la surface du sol; mais il faut remarquer que, lorsque les eaux thermales ont circulé dans l'intérieur de la terre, elles apportent les sels les plus solubles, et ont déposé principalement les substances les moins solubles qui ont pu y être contenues. L'absence habituelle des alcalis dans les filons constitue donc un nouveau rapprochement avec les dépôts des eaux minérales.

Cet ensemble de circonstances a des rapports frappants avec ce qui se passe dans la décomposition des silicates lorsqu'elle s'opère à la surface de la terre par la voie humide. M. Ebelmen a jeté dernièrement un grand jour sur ce sujet par ses *Recherches sur les produits de la décomposition des espèces minérales de la famille des silicates* (1).

M. Ebelmen a considéré diverses roches qui avaient subi une décomposition au contact de l'air, par exemple, différents basaltes et des bisilicates, d'une nature analogue au pyroxène, tels que le bisilicate de manganèse d'Alger (rhodonite de M. Beudant), le bisilicate de manganèse de Saint-Marcel (Piémont), le bustamite de la mine d'argent de Tetala (Mexique). Il a vu que dans ces

(1) *Comptes-rendus*, t. XX, p. 1415.

décompositions, le minerai avait perdu une partie considérable de sa substance; que la matière qui était restée, qui formait la croûte extérieure, avait changé d'état d'une manière très sensible.

Lorsqu'un morceau de basalte est exposé à l'air, il est assez ordinaire de voir qu'il a pris une forme arrondie, dans laquelle on distingue plusieurs zones qui évidemment ont subi une décomposition. En faisant les analyses comparatives des substances décomposées et non décomposées, M. Ebelmen a trouvé que ces roches avaient perdu une partie de leur silice; c'était principalement de la silice qui avait été enlevée. Il y avait aussi quelquefois des alcalis dans ces substances; ils étaient aussi enlevés. Quant à la chaux et à la magnésie, elles étaient quelquefois enlevées dans des proportions plus ou moins considérables. Voici comment il s'exprime lui-même à cet égard.

1° « Dans la décomposition des silicates contenant de la chaux » et de la magnésie, du protoxyde de fer, du manganèse, sans » alumine, on trouve constamment que la silice, la chaux et la » magnésie sont éliminées, et tendent à disparaître complétement » par le fait de la décomposition. Mais tantôt le fer et le manga- » nèse restent dans le résidu de cette décomposition à un état supé- » rieur d'oxydation, tantôt ils disparaissent comme les autres bases.

2° » Dans la décomposition des silicates contenant de l'alumine » et des alcalis, avec ou sans les autres bases, l'alumine se con- » centre dans le résidu de la décomposition, en retenant une cer- » taine quantité d'eau. Les autres sont entraînées avec une grande » partie de la silice. Le produit final de la décomposition se rap- » proche de plus en plus d'un silicate d'alumine hydraté. Ce prin- » cipe comprend, comme cas particulier, la décomposition du » feldspath et sa transformation en kaolin (1). »

L'entraînement de la silice est dû à la solubilité de cette terre à l'état naissant, dans l'eau pure et dans l'eau chargée d'acide carbonique. Elle se trouve, en effet, dissoute dans la plupart des sources, et surtout des sources thermales; les geysers de l'Islande en sont un exemple célèbre.

« Dans les roches d'origine ignée, on trouve du quartz et des si- » licates complexes dont les bases (sans parler de l'alumine) sont » la potasse et la soude, la chaux et la magnésie, du fer et du » manganèse, ordinairement à l'état de protoxydes. Toutes les » bases se trouvent ici dans le même état de combinaison.

» Dans les formations sédimentaires, nous retrouvons les mêmes

---

(1) Ebelmen, *Comptes-rendus*, t. XX, 1445.

» éléments; mais les groupements moléculaires sont devenus beau-
» coup plus simples, et le mode de combinaison, loin d'être le
» même pour toutes les bases, comme dans les espèces des terrains
» ignés, est essentiellement variable d'une base à l'autre, suivant
» l'énergie des affinités de chacune d'elles.

» Nous retrouvons dans les terrains formés par voie aqueuse la
» silice, soit à l'état de quartz, comme dans les grès, les meu-
» lières, soit à l'état soluble dans les alcalis, comme dans la *gaise*
» des Ardennes.

» L'alumine se trouve constamment en combinaison avec la silice
» et l'eau dans les argiles; la chaux et la magnésie, le plus souvent
» à l'état de carbonates, quelquefois purs, le plus ordinairement
» mélangés avec des proportions variables d'argiles, dans les cal-
» caires marneux et les marnes. Le fer et le manganèse se trouvent
» également à l'état de peroxydes hydratés, mêlés en toutes sortes
» de proportions avec les groupes moléculaires précédents, mais
» isolés de toute combinaison avec la silice. Quant aux alcalis, on
» ne les rencontre plus, en général, qu'en faible proportion dans
» les terrains formés par la voie aqueuse (1). » Ils sont restés en dissolution dans les eaux combinés avec les acides carbonique, sulfurique ou hydrochlorique.

Ce n'est pas seulement dans les terrains sédimentaires, réceptacle final des matières charriées par les eaux, que les diverses substances dont il vient d'être question se trouvent respectivement dans les différents états signalés par M. Ebelmen. Il en est de même dans les filons ordinaires, et cette circonstance suffit à elle seule pour dévoiler leur mode de formation, et pour montrer que les substances d'origine souterraine dont ils se composent en grande partie sont *volcaniques à la manière du soufre* et non à la manière des laves.

Ces rapprochements entre les matières constituantes des filons et celles que renferment les eaux minérales, méritent d'autant plus d'attention que dans le voisinage des filons, soit à leur contact, soit même à distance, les roches présentent souvent des altérations plus ou moins grandes, et généralement différentes de celles qui résultent du contact des matières fondues, mais analogues aux altérations qu'éprouvent les parois des fissures traversées par les émanations volcaniques, et à celles que les eaux minérales produisent, et par suite desquelles elles se chargent, comme l'ont si bien expliqué M. Bishof et M. Ebelmen, d'une partie des substances qu'elles contiennent.

---

(1) Ebelmen, *Comptes-rendus*, t. XX, p. 1420.

Ce serait peut-être ici le lieu de citer les argiles bolaires bariolées produites par les geysers de l'Islande, et les analogies qu'elles présentent avec différents terrains bariolés ou irisés, presque constamment en rapport avec des dépôts de sel gemme, de gypse, de dolomie ; mais je ne reviendrai pas ici sur ce que j'ai dit à cet égard dans le 8e chapitre de l'*Explication de la Carte de France* (1), qui est déjà imprimé depuis plusieurs années, quoique le volume dont il fait partie n'ait pas encore été livré au public.

Les rapprochements signalés ci-dessus sont d'autant plus importants qu'ils s'appliquent non seulement aux filons ordinaires, dont les filons de galène argentifère peuvent être considérés comme le type, mais encore à une foule de gîtes qui se rattachent plus ou moins directement à ces filons, et qui, d'un autre côté, se rattachent très directement aussi et quelquefois simultanément à des phénomènes éruptifs, et à des dépôts sédimentaires.

Les émanations auxquelles sont dus les filons ordinaires ont agi sur les roches avec d'autant plus d'énergie, qu'elles ont évidemment possédé au plus haut degré le genre de subtilité nécessaire pour s'introduire dans leurs interstices les plus imperceptibles. Les petits nids et les mouches de substances métalliques qu'on trouve fréquemment dans les roches traversées par des filons remplis des mêmes substances, offrent des exemples remarquables de l'introduction des substances minérales par des fissures ou des pores trop déliés pour qu'on puisse supposer qu'elles y ont pénétré autrement qu'à l'état de vapeurs ou de dissolutions. Ces substances doivent, en effet, s'être insinuées par des fissures extrêmement déliées, ou même à travers les pores de la roche, et cela jusqu'à des distances souvent considérables. On peut citer comme preuves les minéraux analogues à ceux des filons qui ont rempli, dans les terrains sédimentaires, les vides laissés par des coquilles fossiles et par d'autres débris organiques. Sous ce rapport, les pétrifications formées par des minéraux de filons, tels que la galène, la baryte sulfatée, la chaux fluatée, le fer oligiste, les pyrites cuivreuses, présentent un intérêt particulier, de même que les minéraux qui remplissent les fissures des *septaria* (quartz, pyrites, galène, blende, baryte sulfatée, strontiane sulfatée).

On peut encore citer comme exemples de substances minérales qui se sont introduites dans des cavités en apparence très closes, celles qui forment des noyaux d'amygdaloïdes et qui rem-

(1) *Explication de la carte géologique de la France*, t. II, p. 94.

plissent des fissures dans les roches basiques ou volcaniques, telles que les agates, les calcédoines, les hydrophanes, les opales, les zéolites, etc. Les silicates non hydratés sont exclus de tous ces amas de minéraux, et les analogies qui portent à supposer que les filons ordinaires doivent leur origine à des eaux minérales ou à des émanations volcaniques, s'appliquent également à ces gîtes si variés.

Les sources minérales des anciens temps ont dû, comme celles de nos jours, décomposer des masses minérales. Les argiles lithomages, les quartz décolorés et devenus compactes ou grenus et souvent pyriteux, les gypses et les dolomies épigènes, sont aux filons métalliques ce que les roches altérées sous nos yeux par les eaux minérales ou par les émanations souterraines sont aux incrustations formées par des sources ou aux solfatares.

Les gypses et les dolomies épigènes sont des masses calcaires altérées par des sources minérales ou par des émanations venues de l'intérieur du sol. Une montagne de dolomie épigène criblée de petites fissures tapissées de rhomboëdres de dolomie, est un *stock-werk* de magnésie. La formation par épigénie de grandes masses de dolomie ne peut se concevoir que par des émanations qui se seraient insinuées dans une multitude de fissures très étendues et très déliées, ou, pour me servir des expressions mêmes que j'employais, il y a près de vingt ans, en repoussant les objections opposées aux idées de M. Léopold de Buch, « par des gaz qui » se sont dégagés du sein de la terre au moment de la sortie des » mélaphyres, en profitant de toutes les fractures que le sol venait » d'éprouver (1). »

L'insinuation de la baryte sulfatée, de la blende, de la galène dans les fissures d'une foule de *septaria*, démontre victorieusement que l'hypothèse de l'introduction de la magnésie dans des fissures étroites et ramifiées n'a rien d'essentiellement contraire à la nature des forces qui ont régi les phénomènes de la nature minérale.

Les substances qui se sont ainsi insinuées dans les fissures de l'écorce terrestre, celles notamment qui ont rempli les filons, se sont souvent épanchées au dehors, comme le font de nos jours les sources minérales et les émanations volcaniques, et elles se sont déposées à la surface du terrain ou répandues dans les roches sédimentaires qui s'y formaient par l'action des eaux extérieures. Il

---

(1) *Note sur la forme la plus ordinaire des objections relatives à l'origine attribuée à la dolomie.* — *Annales des sciences naturelles*, t. XVIII, p. 269 (1829).

en résulte qu'il existe une liaison très intime, et même souvent une continuité non interrompue entre les filons et autres dépôts d'incrustation formés à l'intérieur du sol déjà consolidé et des couches métallifères dans lesquelles les mêmes substances se trouvent disséminées, mais généralement en moins grande proportion. Comme exemple de ces épanchements superficiels, je citerai, avec MM. Murchison et de Verneuil, les minerais de cuivre répandus dans le terrain permien, au pied de l'Oural, et sortis vraisemblablement des mêmes foyers que les gîtes cuivreux contenus dans les roches de cette chaîne; les minerais des schistes cuivreux de la Thuringe, sortis probablement des mêmes foyers qu'une partie des filons métalliques du nord de l'Allemagne; la plupart des dépôts superficiels de calamine et de galène sortis des filons de blende et de galène des contrées voisines; les minerais variés des arkoses répandues autour du plateau central de la France, que M. de Bonnard a si bien décrits, et dont j'ai moi-même signalé ailleurs les relations de gisement (1); la plupart des gîtes superficiels de manganèse et des gîtes de minerais de fer oolithique et pisolithique, ainsi que des gîtes considérables de fer oligiste, tels que celui de la Voulte; les gypses et les dolomies déposés en couches; les dépôts de strontiane sulfatée avec soufre de la Sicile; enfin, la strontiane sulfatée répandue dans la formation gypseuse de Paris, qui, probablement, sort des mêmes foyers que la strontiane sulfatée en filons dans la craie de Meudon dont elle partage la forme apotome, et à laquelle se trouvent associés le gypse même des environs de Paris, les marnes vertes qui l'accompagnent, les couches de quartz et de chaux carbonatée cristallisées des couches supérieures du calcaire grossier avec la chaux fluatée qui y a été observée, etc....; et même quoique moins directement la blende trouvée avec les pyrites, dans quelques lignites, les filons de fer, de manganèse, de cobalt qui traversent la formation des grès de Fontainebleau, etc.....

On est conduit par l'ensemble des faits et des rapprochements que je viens de discuter à considérer la plupart des filons, des véritables filons, des plus réguliers, en un mot, des *filons d'incrustation*, comme ayant été produits par des dépôts opérés dans les eaux qui circulaient dans des fentes de l'écorce terrestre, à l'état liquide ou à l'état de vapeur. C'est là une opinion qui est bien loin d'être nouvelle, et qui a de grands rapports avec celle sur laquelle Werner basait sa théorie des filons.

Werner supposait, en effet, que les filons sont des fentes rem-

(1) *Explication de la carte géologique de la France*, t. II, p. 297.

plies, ce qui est une chose aujourd'hui généralement admise. Il supposait, de plus, que les substances dont les filons se composent ont été déposées par l'action des eaux, ce qui paraît encore être vrai dans le plus grand nombre de cas, pour les filons incrustés formés de bandes parallèles. Il supposait enfin que ces eaux ont formé sur la surface du sol des *dissolutions superincombantes* lesquelles ont pénétré dans les fentes qui ont été remplies par les filons. C'est sur ce dernier point qu'on s'est éloigné de l'opinion de Werner. On admet avec lui que les substances minérales ont été déposées par l'action des eaux, que les filons ont rempli les fentes ; mais on n'admet pas que ç'ait été par des dissolutions superincombantes : on admet, au contraire, que les substances répandues à la surface sont venues de l'intérieur de la terre ; qu'elles ont été entraînées, soit par des eaux minérales, soit quelquefois par des vapeurs aqueuses ; qu'elles ont été déposées en partie dans les fissures par lesquelles ces émanations passaient, et que le reste seulement de ce qui a pénétré dans les fissures et s'y est en partie fixé s'est répandu dans les eaux superficielles, et a été finalement déposé par elles. La dissolution allait en s'affaiblissant à mesure qu'elle s'éloignait du foyer d'où elle émanait, au lieu d'être, comme dans l'hypothèse de Werner, tout au plus aussi concentrée dans les fentes que sur la surface. Cette manière de voir est bien mieux en rapport avec les faits connus relativement aux filons, et elle explique parfaitement la relation qui existe entre les filons et une foule de gîtes métallifères qui se trouvent répandus sur la surface du globe.

Tous ces faits qui s'enchaînent, et qui s'expliquent naturellement lorsqu'on admet que les substances contenues dans les filons sont *volcaniques à la manière du soufre*, deviendraient autant d'énigmes inexplicables, si on soutenait qu'elles sont *volcaniques à la manière des laves*.

Dans cette dernière supposition, on ne pourrait concevoir les faits les plus simples et le plus habituellement observés dans les filons.

On a cité plus d'une fois les agates, les calcédoines, les cristaux de quartz hyalin et d'améthyste qui existent dans les cavités des amygdaloïdes, comme offrant une preuve de l'origine ignée de toutes ces substances. A cela on peut répondre que ces mêmes substances se trouvent associées dans les géodes du calcaire siliceux de Champigny, près Paris, et dans celles qu'offrent assez fréquemment les silex de la craie tufau près de Rouen et du Havre.

Si les géodes d'agate et de quartz des amygdaloïdes provenaient

de portions de silice qui auraient été en fusion en même temps que la roche qui les renferme, on concevrait difficilement pourquoi ces géodes se trouvent à peu près uniquement dans des roches ayant pour base un feldspath avec excès de bases. Si on admet, au contraire, que ces géodes ont été formées par infiltration, on conçoit aisément l'origine du quartz en remarquant que les roches basiques ont été plus susceptibles que des roches sursaturées de silice d'être décomposées par des eaux ou des vapeurs acides, et que, quoique moins riches en silice, elles en ont fourni plus facilement. On pourrait expliquer de la même manière l'origine des hydrophanes contenues dans les fentes des serpentines du mont Musinet, près de Turin, celle des opales renfermées dans les conglomérats trachytiques, et l'absence de substances analogues dans les porphyres quartzifères et dans les granites. Les veines de quartz des granites possèdent d'autres caractères qui indiquent une origine différente.

Beaucoup de géologues sont portés à admettre que tous les filons ont été remplis par l'injection de matières en fusion. Il est cependant difficile d'admettre que des cristaux de quartz contenant des gouttelettes formées de deux liquides huileux, dont l'un est volatil à la température de 27° centigrades, aient cristallisé dans un bain de quartz en fusion. Or le quartz fait partie des gangues de la plupart des filons, et le quartz avec goutelettes liquides est loin d'y être une très grande rareté.

Si les matières qui remplissent un filon y avaient toujours été injectées à l'état de fusion, comment expliquerait-on, par exemple, un filon composé de bandes alternatives de fer spathique et de quartz?

Au contraire, l'hypothèse qui attribue les filons métalliques ordinaires à des émanations sous forme de vapeurs ou d'eaux minérales permet de concevoir les faits les plus variés que présentent les filons, et, par exemple, le développement des affinités chimiques, dont on a remarqué depuis longtemps l'influence dans la manière dont les métaux y sont associés. Les substances qui y sont généralement réunies ont beaucoup de rapports entre elles, et souvent même des propriétés tout à fait analogues. Le nickel et le cobalt, qui se trouvent très souvent ensemble, ont les plus grands rapports dans toutes leurs propriétés; il en est de même du fer et du manganèse. L'antimoine et l'arsenic, dont les propriétés sont analogues, jouent des rôles analogues et sont fréquemment associés. L'argent et le plomb ont beaucoup de rapports; ils sont très constamment associés dans les filons. Il est assez rare d'y trouver

de l'argent qui ne soit pas accompagné de plomb, et cela n'a guère lieu que lorsque l'argent est à l'état natif ou à l'état de chlorure, deux des états de l'argent qui diffèrent le plus des états correspondants du plomb. Il est encore plus rare de trouver du plomb qui ne soit pas argentifère, parce que le minerai de plomb le plus répandu est le plomb sulfuré, dont les propriétés sont très analogues à celles du sulfure d'argent. Le plomb et le zinc, dont les sulfures ont des propriétés analogues, se trouvent habituellement associés ensemble sous la forme de la galène et de la blende; enfin il en est de même de toute la grande famille des métaux qui entrent dans les filons stannifères, l'étain, le tungstène, le tantale, le niobium, le pelopium, etc.

La division des filons en deux grandes classes, dont l'une contient habituellement un grand nombre de corps simples inconnus ou très rares dans l'autre, est complétement en rapport avec la supposition que les filons se sont formés dans des circonstances qui ont permis aux affinités chimiques de déployer leur action avec une entière liberté. Elle met d'autant mieux en évidence l'influence des actions chimiques sur la formation des gîtes métallifères, que les deux classes se rattachent à deux grandes classes de roches dont la composition chimique présente des différences qui sont en rapport avec celles des deux grandes classes de filons.

Il existe en effet une relation impossible à méconnaître entre la nature des filons et la nature des roches éruptives dans le voisinage desquelles ils se trouvent, et avec lesquelles ils sont en connexion. Les filons ordinaires, que j'ai nommés aussi plombifères, parce que les filons de galène argentifère peuvent en être considérés comme le type, se rattachent souvent aux roches éruptives basiques. Ils sont surtout caractérisés par le rôle qu'y jouent les minéralisateurs et par l'absence de silicates anhydres. Ils sont moins riches en minéraux et en corps simples que les filons stannifères, qui se rattachent directement aux granites et aux autres roches éruptives chargées d'un excès d'acide silicique. Je pourrais multiplier les exemples de ce fait général, mais je me bornerai à citer ici ceux que nous offre l'Angleterre.

On trouve dans différentes parties de l'Angleterre un grand nombre de filons. Il en existe d'abord en Cornouailles une première série dans laquelle on exploite les minerais d'étain; ils sont très intimement liés avec les roches granitiques; ils contiennent une bien plus grande variété de substances minérales que les autres filons qui leur sont postérieurs.

La seconde série renferme les filons qu'on exploite pour les mi-

nerais de cuivre. Ces minerais sont principalement de la pyrite cuivreuse; il y a aussi du cuivre sulfuré, du cuivre oxydulé, du cuivre natif, du phosphate et de l'arséniate de cuivre. Ces filons, qui sont quelquefois une simple extension des précédents, se rattachent encore, mais moins directement, aux granites dont ils s'éloignent souvent beaucoup plus.

Les filons de la troisième série portent le nom de filons croiseurs, parce qu'ils coupent ordinairement les autres, auxquels ils sont postérieurs; ils renferment des minerais de plomb et de cobalt, du sulfure d'antimoine, de l'argent noir et de l'argent natif.

Enfin, il y a une autre série de dépôts métallifères dans le Cornouailles et le Devonshire, ce sont ceux qui renferment seulement du manganèse; ceux-là pénètrent jusque dans le nouveau grès rouge; tandis qu'on n'y voit jamais pénétrer les filons de plomb, les filons de cuivre, et encore moins les filons d'étain.

Ces différents filons paraissent s'être formés successivement, à des époques de moins en moins anciennes, et on voit la quantité de substances minérales diminuer et leur nature changer, à mesure qu'on revient à des époques de plus en plus modernes, à des époques de plus en plus éloignées des éruptions de roches granitiques, qui paraissent avoir été le point de départ de la formation de la plus grande partie au moins de ces filons.

Je dis de la plus grande partie, parce que certaines roches trappéennes peuvent avoir été le point de départ de quelques uns d'entre eux; mais il y a des différences entre les filons qui sont en rapport avec des roches trappéennes et ceux qui sont en rapport avec les roches granitiques. Les premiers, dont on trouve des exemples nombreux et célèbres dans le Cumberland et le Derbyshire, où ils se rattachent aux *toadstones* et aux *whinstones*, renferment une variété bien moins grande de substances minérales, sont beaucoup moins riches en corps simples et surtout en métaux que ceux qui se rattachent directement aux granites et aux autres roches éruptives chargées d'un excès d'acide silicique.

Le Cornouailles et la Saxe, où les granites et les porphyres quartzifères ont été les principaux centres d'émanation des richesses métalliques, renferment des filons des deux classes dont la distinction, sans être absolue, a été faite depuis longtemps. Parmi les filons qui paraissent se lier à des roches où la silice est en excès, ce sont seulement les plus modernes qui correspondent, par leur composition, à ceux qui se rattachent aux roches neutres ou basiques. Les filons qui se rattachent aux masses granitiques ne sont pas tous éga-

lement riches en corps simples. Les filons ou les parties de filons qui s'écartent des masses granitiques, bien qu'ils s'y rattachent encore, sont beaucoup moins riches que ceux qui y tiennent de plus près. Les émanations granitiques se sont visiblement appauvries avec le temps et à mesure qu'elles se sont étendues à de plus grandes distances. Elles ont fini par se réduire au degré de richesse des émanations des roches basiques, et les derniers filons émanant des granites ne se distinguent pas de ceux qui émanent des roches basiques, de sorte qu'on ne peut décider s'ils émanent réellement des granites ou de masses de roches basiques restées ensevelies au-dessous de ces derniers.

Il y a ainsi deux classes de contrées métallifères : celles dans lesquelles ont eu lieu des éruptions de roches granitiques, où on rencontre tout le cortége de minéraux que j'ai déjà cités comme se trouvant disséminés dans les roches granitiques ; et celles dont les richesses ne dérivent que des roches éruptives volcaniques et basiques. Les filons de celles-ci ne possèdent que la fin de la série des émanations métallifères ; elles ne contiennent que 43 corps simples, et il en est plusieurs qui ne figurent en quelque sorte que *pour mémoire* dans ce nombre 43, parce qu'ils y sont fort rares : tels sont l'*étain*, qui n'est pas moins rare ici que n'est le plomb parmi les minéraux disséminés dans les granites ; le *palladium*, qui n'y figure que pour le palladium sélénié du Hartz ; le *bore*, que je n'y place qu'à cause des tourmalines, renfermés dans des dolomies du Saint-Gothard et de la boracite disséminée dans certains gypses, et même le *molybdène* qui n'y est représenté que par le plomb molybdaté. Ils ne renferment que des silicates hydratés, tels que la laumonite, l'harmotome et diverses autres zéolithes, le silicate de zinc hydraté (calamine) et certaines chlorites. Il faut encore remarquer que l'*aluminium* ne s'y trouve guère à l'état de combinaison que dans les zéolithes, dans les chlorites, dans le plomb-gomme et dans quelques autres minéraux qui peuvent être regardés comme des résultats de décomposition, et sous une forme pour ainsi dire mécanique, dans les argiles lithomarges. Son absence ordinaire coïncide avec l'absence des silicates non hydratés.

Les 38 autres corps simples n'y sont pas tous également répandus. Parmi ceux qui s'y font le plus remarquer, on peut citer le *barium*, le *strontium*, le *zinc*, le *plomb*, le *cuivre*, le *mercure*, l'*argent*, le *carbone*, le *tellure*, l'*antimoine*, 10 corps qui sont beaucoup plus rares, dont quelques uns même sont inconnus dans

les granites et dans les filons stannifères. Les filons ordinaires sont surtout caractérisés par le rôle important qu'y jouent les *minéralisateurs*, et par l'*absence des silicates anhydres*.

Dans les filons stannifères, le rôle des minéralisateurs est moins prépondérant. Les gangues autres que la silice jouent un rôle moins habituel : des silicates anhydres y existent fréquemment. Enfin, ces filons, ou, pour mieux dire, la classe très étendue de gîtes métallifères, dont les filons réellement stannifères forment seulement une partie, se distinguent par la grande variété des minéraux qu'ils renferment. Comme le montre la 9e colonne du tableau placé à la fin de cette note, c'est la classe des gîtes minéraux la plus riche en corps simples. On y en trouve 48, et ces corps, qui n'y existent pas tous en même temps et qui se remplacent souvent les uns les autres, jouissent en partie de propriétés analogues. Ils sont, pour la plupart, très avides d'oxygène, et, toutes choses égales, ils se rencontrent plus souvent oxydés et moins souvent combinés avec les minéralisateurs, que les métaux qu'on trouve dans les filons ordinaires. Les oxydes de beaucoup de ces corps jouissent des propriétés acides, et se rapprochent, sous ce rapport, de la silice, ce qui rend d'autant plus remarquable la richesse en silice de ces gîtes eux-mêmes, et leurs rapports constants avec les granites, qui sont les roches éruptives les plus riches en silice.

Ces gîtes tiennent d'extrêmement près au granite, et leur mode de formation a eu nécessairement les plus grands rapports avec le mode de formation des masses granitiques elles-mêmes. Indépendamment de ce que les gîtes stannifères se rattachent aux granites par de nombreux passages, la liaison est encore établie par la grande ressemblance qui existe, comme le montrent les colonnes 5 et 6 du tableau, entre les listes des corps simples contenus dans les uns et dans les autres. Ces deux classes de gîtes sont avec les filons ordinaires celles dans lesquelles il entre le plus de corps simples. Mais une partie considérable des corps simples qui se trouvent dans les filons ordinaires se retrouvent, comme le montrent les colonnes 8 et 9, dans les sources minérales et dans les émanations volcaniques, tandis que parmi ceux qui sont communs aux granites et aux filons stannifères, plusieurs ne se trouvent jamais ailleurs, et un grand nombre ne se retrouvent ailleurs que très rarement et en très petite quantité. Il semble ainsi qu'il y ait eu une sorte de concentration d'une classe nombreuse de corps simples dans la première écorce du globe terrestre, et que, lors de sa formation, il ait existé une cause tendant à ce qu'un grand nombre de corps simples fussent retirés de la circulation.

Les gîtes que je désigne sous le nom de *filons stannifères* (en prenant, ainsi que je l'ai déjà annoncé, la partie pour le tout) sont sujets à contenir les 42 corps simples contenus dans les granites, à l'exception du *thorium* que je n'y trouve pas encore indiqué, et qui est très rare dans les granites eux-mêmes. On y trouve, comme dans les granites, le *lithium*, l'*yttrium*, le *glucinium*, le *zirconium*, le *cerium*, le *lanthane*, le *didymium*, le *tantale*, le *niobium*, le *pelopium*, l'*étain*, le *tungstène*, le *molybdène*; mais on y cite en outre 7 corps simples : le *barium*, le *nickel*, le *cadmium*, le *vanadium*, le *tellure*, l'*antimoine* et le *selenium*, qui sont connus pour se trouver assez habituellement dans les filons ordinaires, mais qui n'ont pas encore été cités dans les granites. Ces 7 corps simples sont tous fort rares dans les filons stannifères, et si plusieurs d'entre eux n'ont pas encore été découverts dans les roches granitoïdes, cela tient peut-être au mode de concentration que la nature a suivi dans la formation des gîtes stannifères. Les 41 autres corps simples, qui sont communs aux roches granitoïdes et aux filons stannifères, y sont beaucoup plus répandus et y sont beaucoup plus caractéristiques. L'existence prédominante de ces 41 corps simples dans les deux classes de gîtes dénote entre eux des analogies et une liaison très intime.

Cette liaison devient encore plus manifeste, quand on examine en quoi les filons de la seconde classe diffèrent, par leur contenu, des *filons stannifères*. Les corps simples sont très notablement moins nombreux dans les filons ordinaires et dans les géodes des roches basiques ou volcaniques, qu'ils ne le sont dans les filons stannifères : on y en compte seulement 43. Certains métaux, tels que l'*or*, l'*argent*, le *palladium*, se trouvent dans les filons ordinaires et dans les filons stannifères. Quelques autres, tels que le *strontium*, se trouvent dans les filons ordinaires et sont encore inconnus dans les filons stannifères; mais il n'est pas impossible qu'ils se trouvent plus tard dans ces derniers. L'absence de la plupart des corps simples qui forment l'attribut distinctif des granites est ce qui distingue spécialement les premiers. La plus grande richesse des filons stannifères tient en effet aux rapports qu'ils présentent avec les granites, et la présence de tous les corps simples cités dans les granites (le *thorium* seul excepté), est ce qui leur donne un caractère distinct.

La liaison que ces comparaisons nous révèlent entre les filons stannifères et les granites, d'une part, et entre les filons stannifères et les filons ordinaires de l'autre, est un fait important qui montre que l'étude de l'origine du granite est un complément in-

dispensable de celle de l'origine des filons ordinaires, et que le mode de formation du granite doit avoir eu un caractère intermédiaire entre l'origine des filons ordinaires et l'origine des roches éruptives volcaniques et basiques.

Le granite, surtout lorsqu'il dégénère en certaines roches qui en sont des dégradations ou des monstruosités, est sujet à renfermer une foule de minéraux cristallisés qui ne se trouvent presque jamais ailleurs, si ce n'est dans les roches métamorphiques qui lui sont intimement associées et dans les gîtes stannifères. Tels sont la tourmaline, le zircon, l'étain oxydé, le wolfram, le tantalite, etc. Ces minéraux contiennent eux-mêmes un certain nombre de corps simples, inconnus ailleurs, et qui n'ont pas continué à faire partie du répertoire des corps simples employés dans le laboratoire de la nature jusqu'aux époques géologiques récentes : tels sont le *thorium*, l'*yttrium*, le *tantale*, le *niobium*, le *pelopium ;* dont quelques autres, comme le *glucinium*, le *zirconium*, le *cerium*, le *lanthane*, le *didymium*, l'*urane*, l'*étain*, le *tungstène*, le *molybdène*, bien que se trouvant quelquefois ailleurs, semblent avoir, dans le granite et dans les roches métamorphiques concomitantes, ainsi que dans les gîtes stannifères, leur gisement de prédilection, dont ils sortent presque aussi rarement que le platine et les métaux ses satellites sortent des roches éruptives basiques.

Le *thorium* n'a encore été trouvé que dans le granite ou dans les roches métamorphiques concomitantes ; il n'a pas encore été suivi jusque dans les gîtes stannifères.

Le *zirconium* se trouve dans le zircon empâté au milieu de certains basaltes, mais paraît ne s'y trouver que d'une manière accidentelle, comme élément arraché aux granites qui sont son véritable gisement, et la zircone se trouve encore au milieu des granites dans plusieurs autres minéraux.

L'*étain*, le *tungstène*, le *molybdène*, l'*urane* ne s'échappent en quelque sorte qu'à la dérobée, et en fort petite quantité, des granites, des roches métamorphiques concomitantes et des gîtes stannifères. C'est là que tous ces corps ont, pour ainsi dire, leur quartier général, et ils ne font, dans le reste du monde minéral, que de rares et furtives excursions.

Quelques autres corps simples, quoique très généralement répandus, se trouvent dans les granites, dans les roches métamorphiques concomitantes et dans les gîtes stannifères en plus grande abondance que partout ailleurs, ou sous des formes qu'ils ne reprennent dans aucun autre gisement. Ils s'y trouvent, par exemple, dans des minéraux beaucoup plus nombreux que partout ailleurs,

ce qui montre que, dans les circonstances où le granite s'est formé, ils se sont trouvés plus à l'aise pour développer toutes leurs affinités et pour contracter toutes les combinaisons dans lesquelles ils sont susceptibles d'entrer.

Ainsi, le *lithium* se trouve dans quelques eaux minérales, mais il y est assez rare et toujours peu abondant, et, indépendamment de cela, il n'a été reconnu que dans des minéraux contenus dans les roches granitoïdes, dans les roches métamorphiques concomitantes et dans les gîtes stannifères.

Le *titane* se trouve dans une foule de roches : c'est un des corps simples les plus répandus, et qui peuvent servir à établir la liaison entre les roches volcaniques et les roches cristallines anciennes ; mais il se trouve dans les roches volcaniques à l'état de fer titané seulement, tandis que, dans les roches anciennes, il entre dans un très grand nombre de minéraux.

Le *cerium*, qui présente des rapports avec le manganèse dans ses propriétés chimiques, se trouve principalement dans les granites et dans les gisements concomitants, où il y entre dans la composition d'une foule de minéraux inconnus ailleurs.

Le *bore* se rencontre dans les émanations volcaniques actuelles, aussi bien que dans les roches granitiques. C'est un des corps qui peuvent servir à établir la liaison entre les phénomènes anciens et les phénomènes récents ; mais il se trouve bien plus habituellement et en plus grande abondance dans les roches cristallines anciennes, où les tourmalines qui contiennent du bore sont généralement répandues.

Le *fluor* ne joue qu'un rôle très peu appréciable dans les volcans. Il se trouve dans les eaux minérales et dans les filons, sous forme de chaux fluatée ; mais on voit qu'il a joué un rôle important dans les anciens phénomènes de cristallisation, parce que beaucoup de composés qui renferment les corps simples propres aux terrains granitiques renferment en même temps du fluor.

Le *phosphore* contenu dans le phosphate de chaux se trouve dans les eaux minérales et dans la terre végétale qui le fournissent journellement aux corps organisés, et il se trouve répandu avec les ossements, les coquilles et autres débris organiques, dans toutes les roches sédimentaires ; mais le gisement essentiel de la chaux phosphatée cristallisée est au milieu des granites et dans les gîtes stannifères, où l'acide phosphorique se trouve encore dans le manganèse phosphaté et dans plusieurs autres minéraux.

Le *carbone* se présente dans des circonstances assez analogues à celles où se présente le phosphore. Il entre, pour une partie

principale, ou au moins très notable, dans la composition des êtres organisés, qui l'empruntent à l'acide carbonique de l'atmosphère dans laquelle les émanations volcaniques et les sources minérales le versent constamment. Il se trouve au milieu des roches sédimentaires et métamorphiques sous forme de combustibles minéraux et de graphite, qui doivent leur origine à des débris organiques, et il y entre dans la composition de carbonates qui proviennent ou de débris organiques, ou de sources minérales; mais on ne peut lui assigner d'autre gisement indépendant des êtres organisés et des émanations souterraines, que les roches cristallines anciennes; car il est très probable que le gisement originaire du diamant, qui n'est pas encore bien connu, se trouve dans certaines roches granitoïdes très riches en minéraux cristallisés qui sont le gisement originaire de la plupart des pierres précieuses.

Tous ces corps, si remarquables par la vigueur de l'action cristalline qui a présidé à leur formation, sont, dans cette forme particulière, au nombre des minéraux qui caractérisent les granites.

Si la concentration de certains corps simples dans le granite se bornait à des corps généralement très rares et assez peu connus, comme quelques uns de ceux que nous venons de passer en revue, on pourrait l'appeler une bizarrerie de la nature, en supposant qu'un pareil mot pût être admis dans la science; mais un phénomène analogue existe pour des corps extrêmement répandus dans tout le règne minéral et même dans le règne organique, particulièrement pour le potassium.

Le *potassium* et le *sodium* se trouvent dans toutes les colonnes du tableau qui termine cette note, excepté dans celle des métaux natifs; mais il est à remarquer qu'ils n'y sont pas dans la même proportion; que le potassium est plus abondant, proportionnellement, dans les roches granitiques qu'il ne l'est dans les roches volcaniques actuelles et dans les roches volcaniques anciennes. Il arrive très souvent que, dans les roches volcaniques, il est remplacé par le sodium. De même, la soude est plus abondante que la potasse dans les eaux minérales actuelles et dans les émanations volcaniques. Ainsi, le potassium et le sodium ont joué un rôle à peu près analogue; mais le potassium a joué son rôle plus anciennement, et le sodium à une époque plus moderne. La potasse a des affinités plus fortes pour la plupart des acides, et surtout pour la silice, que la soude, et les silicates à base de potasse sont plus stables que ceux à base de soude. Cela explique comment les eaux thermales, en décomposant les roches qu'elles ont à traverser dans l'intérieur de la terre, s'y chargent de soude plutôt que de

potasse, et cela permet aussi de concevoir pourquoi le potassium s'est concentré, de préférence au sodium, dans l'écorce granitique du globe terrestre, dans ce qui paraît avoir été la première croûte refroidie qui a pu se former à la surface du globe terrestre encore en fusion.

Enfin, le même phénomène de concentration dans les granites existe pour le *silicium*, puisqu'en examinant les différentes classes de roches éruptives, on est conduit à les diviser en roches dont la masse est principalement formée par des feldspaths où la silice se trouve en défaut, et en roches extrêmement silicatées, telles que les granites dans lesquels le feldspath est saturé de silice, et qui renferment même un excès de silice libre; d'où il résulte que les granites et toutes les roches auxquelles se rapporte collectivement la 5e colonne du tableau placé à la fin de cette note, se distinguent essentiellement des autres roches éruptives, parce que la silice s'y trouve dans une proportion beaucoup plus grande.

Cette dernière remarque doit faire concevoir que le fait de la concentration d'un certain nombre de corps simples dans les granites et dans les gîtes concomitants doit tenir aux circonstances les plus caractéristiques de leur formation. Il est d'autant plus probable qu'il en est ainsi, que la plupart de ces corps simples jouissent en commun de certaines propriétés : la plupart sont très avides d'oxygène ; toutes choses égales, d'ailleurs, ils sont plus souvent oxydés et moins souvent combinés avec des minéralisateurs que les métaux, qui se trouvent de préférence dans les filons ordinaires. En s'oxidant, ils donnent naissance soit à des substances alcalines plus ou moins analogues à la potasse, soit à des acides faibles qui ont des rapports plus ou moins marqués avec la silice. Tout porte donc à conclure que c'est la même cause, et par conséquent une cause très spéciale qui a concentré tous ces corps dans les granites et dans les gîtes concomitants d'une manière si particulière.

L'action de cette cause, quelle qu'elle puisse être, se révèle encore par les différences qu'on observe entre les effets métamorphiques qui ont accompagné l'injection du granite et celle de la plupart des autres roches éruptives à travers les roches préexistantes. Quelquefois les effets métamorphiques du granite se bornent, comme ceux du basalte ou du porphyre, aux conséquences d'une élévation de température considérable, quoique généralement trop faible pour fondre les roches métamorphosées qui ont conservé presque partout leur stratification originaire ; mais, dans une foule de cas, les effets métamorphiques du granite, sans annoncer une

température capable de fondre les roches qui ont conservé leur stratification, annonce une énergie extraordinaire d'action chimique et cristalline, et ces effets dérivent tellement bien de l'action du granite et de l'action même à laquelle le granite doit sa propre cristallinité, qu'ils sont accompagnés de l'introduction de la plupart des corps simples et des minéraux caractéristiques des granites.

L'origine granitique de ces minéraux est tellement évidente, que je n'ai pas hésité à comprendre, dans la 5e colonne du tableau placé à la fin de cette note, les éléments de tous les minéraux qui se trouvent dans les roches métamorphiques, dont le métamorphisme est dû au granite ; ceux, en un mot, qui, suivant l'heureuse expression de M. de Humboldt, sont compris dans *la pénombre du granite* et des roches granitoïdes. Les minéraux si variés qui se trouvent disséminés dans les micaschistes rentrent pour moi dans cette classe; et c'est pour cela que j'y comprends le spinelle zincifère des schistes talqueux du fahlun, l'or natif de certains micaschistes, l'argent que cet or renferme sous forme d'alliage, etc. ; ce qui me donne des motifs pour comprendre le zinc, l'or et l'argent parmi les corps simples qui forment le cortège des roches granitiques.

Les minéraux qui contiennent cette multitude de corps simples que j'ai signalés comme l'attribut spécial des granites, se trouvent ainsi concentrés dans la zone dans laquelle la cause qui a présidé à la cristallisation du granite a surtout exercé sa puissance; leur présence est l'un des témoignages les plus palpables de l'action d'une réunion d'agents que l'on désignerait assez volontiers sous le nom d'*aura granitica*, si l'on voulait se contenter d'exprimer les notions vagues que révèle le premier aspect des phénomènes. Mais si l'on veut y pénétrer plus avant et les analyser plus complétement, on remarquera que les minéraux qui contiennent cette multitude de corps ne sont pas disséminés arbitrairement dans toutes les parties des masses granitiques qui en renferment : ils sont concentrés dans certaines parties, et surtout vers la surface de ces masses granitiques. C'est la position dans laquelle se trouvent ordinairement les minerais d'étain. Ils sont ainsi concentrés, non seulement dans la première écorce du globe terrestre, mais encore dans l'écorce de cette écorce et dans les ramifications que cette écorce a formées dans les masses à travers lesquelles elle était poussée par les agents éruptifs. On observera, en outre, que les parties des masses granitiques et de leurs ramifications dans lesquelles sont concentrées les richesses minérales qui nous occupent, se distinguent du reste des masses, non seulement par

leur position excentrique, mais aussi par l'excentricité de leur composition ou de leur structure. Elles sont souvent plus cristallines que le reste (granites à grandes parties, pegmatites); plus souvent encore elles sont extrêmement quartzeuses, et sont même, sous ce rapport, de véritables monstruosités du granite (hyalomicte, hyalo-tourmalite, quartz en masse). On est donc fondé à penser que l'action quelconque qui a concentré sur la limite des masses granitiques, les richesses minérales et la surabondance de quartz dont nous parlons, n'est qu'une application plus concentrée de la cause générale à laquelle les granites doivent d'être plus riches en silice que la plupart des autres roches éruptives, et de s'en distinguer en même temps par une cristallinité particulière. C'est dans cette zone extérieure, désignée si heureusement par M. de Humboldt sous le nom de *pénombre du granite*, que la cause quelconque à laquelle sont dues la cristallinité et la richesse en silice du granite a surtout exercé sa puissance, et c'est là que le secret de son action peut être recherché avec le plus de chances de succès.

L'origine éruptive des granites ne saurait être révoquée en doute. Les ramifications qui se détachent sous forme de filons ou de colonnes irrégulières de la plupart des masses granitiques, les fragments de roches préexistantes qui s'y trouvent empâtés, en fournissent des preuves incontestables. Les granites, au moment où ils ont fait éruption, étaient à une température élevée; on en a la preuve dans les modifications qu'ont fréquemment éprouvées les roches préexistantes, au milieu desquelles ils ont été injectés.

La question de l'origine des granites consiste surtout aujourd'hui à déterminer les *différences* qui doivent avoir existé entre le mode d'éruption des granites et le mode d'éruption des roches qui s'en rapprochent le plus par leur composition, différences qui doivent être en rapport avec la cristallinité particulière des granites et avec toutes les circonstances qui les particularisent.

Il est certain qu'il a existé des différences essentielles entre le mode d'éruption des granites et celui de la plupart des autres roches éruptives. Les filons de granite ont rarement la régularité et l'étendue que présentent habituellement les filons de basalte et de porphyre quartzifère. Ils ne sont jamais accompagnés de scories ni de roches vitreuses; ils ne sont presque jamais accompagnés de conglomérats qu'on puisse mettre en parallèle avec les conglomérats basaltiques, trachytiques et porphyriques. On chercherait vainement à expliquer ces différences en disant que le granite est le produit d'éruptions *intérieures* qui auraient rempli de vastes ca-

vités situées à de grandes profondeurs dans l'épaisseur de l'écorce terrestre. Les éruptions granitiques peuvent sans doute avoir rempli quelquefois de grands vides souterrains produits par les dislocations de l'écorce du globe ; mais la profondeur à laquelle ils pouvaient être situés n'a eu qu'une influence très secondaire sur le phénomène. On en a la preuve dans la disposition des gîtes stannifères qui forment le cortége d'un grand nombre de masses granitiques. La richesse de ces gîtes, notamment celles des masses d'hyalotourmalites schisteuses, d'origine métamorphique, qu'on exploite à l'Auersberg, en Saxe, varie rapidement avec la distance des points exploités à la surface du sol. Cette variation, observée dans les gîtes stannifères, est d'autant plus significative qu'elle n'est qu'un cas particulier d'une variation toute semblable observée dans une foule de gîtes métallifères de la nature la plus variée. On peut citer comme exemples de cette variation les mines d'or de Beresowsk, en Sibérie, le *Gossan*, souvent stannifère des filons du Cornouailles, les minerais argentifères rouges de la mine d'Huelgoet, en Bretagne, les *Pacos* et les *Colorados* du Mexique et du Pérou, une foule de dépôts calaminaires, et elle prouve que la surface actuelle diffère très peu de la surface qui existait lors de la formation de ces différents gîtes métallifères, et près de laquelle la richesse minérale s'est particulièrement concentrée. Cette remarque s'appliquant aux gîtes stannifères anssi bien qu'aux autres, on est conduit à conclure que depuis leur formation, et par conséquent depuis l'éruption des granites, à la *pénombre* desquels ils appartiennent, la surface du sol n'a guère été altérée que par le creusement des vallées. Les granites qui se montrent avec leur grain ordinaire, soit à la surface des plateaux, soit à une petite distance verticale au-dessous de leur surface, ne peuvent donc être redevables de leur cristallinité à la grande profondeur à laquelle ils se seraient consolidés,

Si la forme particulière des roches granitiques et des roches métamorphiques qui leur sont associées tenait seulement à la grande profondeur à laquelle elles se sont produites, on les trouverait également riches en substances métalliques, quel que soit leur âge. Or, il est certain que, parmi les roches de cette classe, les plus anciennes sont les plus riches, comme on peut s'en convaincre en comparant les roches cristallines anciennes de la Suède, de la Finlande, de la Bohême, de la Bavière, de la Nouvelle-Angleterre, etc., aux roches qui leur sont le plus analogues parmi celles qui sont dues à des phénomènes plus modernes. La Syénite zirconienne de Christiania, le Miascite et les autres roches cris-

tallines de l'Oural, sont du nombre de celles parmi lesquelles on a signalé la plus grande variété de minéraux contenant habituellement les corps simples spécialement concentrés dans les roches granitiques. Ils s'y trouvent en effet presque tous; cependant le *molybdène* et le *tungstène* paraissent y manquer. Or ces roches, quoique sans doute fort anciennes, le sont probablement un peu moins que la plupart de celles dans lesquelles se trouvent habituellement les minéraux qui contiennent ces deux derniers métaux. Ainsi leur ancienneté un peu moindre est accompagnée d'un premier degré d'appauvrissement. Cet appauvrissement devient bien plus sensible encore si on compare des roches cristallines acidifères d'âges plus différents. On peut alors faire porter la comparaison sur des localités très nombreuses. M. Scheerer, de Christiania, a signalé, il y a quelques années (1), l'existence de gadolinites, d'orthites et d'allanites (minéraux pyrognomiques contenant du *cerium*, de l'*yttrium* et du *zirconium*, et le plus souvent accompagnés des autres corps simples, spécialement propres aux roches cristallines acidifères), dans les granites de 74 localités différentes, savoir : 60 en Norwége et en Suède, 5 en Finlande, 4 au Groenland et 5 dans l'Amérique septentrionale (Nouvelle-Angleterre). Il se trouve aujourd'hui en mesure d'augmenter encore considérablement le nombre de ces gisements et de les porter jusqu'à 100. Il y comprend celui d'un minéral voisin de l'Orthite que M. Breithaupt a découvert près de Marienberg, en Saxe. Il ne nomme pas une seule localité où ces roches granitoïdes et métamorphiques ne remontent pas à une époque ancienne. Si de ces gisements anciens on passe aux roches jurassiques métamorphiques des Alpes, on y trouve encore la tourmaline et les minerais de titane, mais ils sont dépouillés de tout le cortége des minéraux qui contiennent les métaux de la famille du tantale. Les filons à silicates qui accompagnent les roches granitoïdes de l'Oisans, du Mont-Blanc, du Saint-Gothard, renferment bien du titane et du bore (dans l'axinite), mais ils ne contiennent ni étain, ni tungstène, ni tantale, ni cerium, etc. Les granites de l'île d'Elbe, qui ont fait éruption postérieurement au dépôt des terrains crétacés, et même probablement après le dépôt d'une grande partie des terrains tertiaires renferment encore des tourmalines et quelques émeraudes, mais elles y représentent seules les minéraux variés et riches en corps simples des granites anciens. Les granites talqueux ou *proto-*

---

(1) Scheerer, *Annales de Poggendorff*, t. LXI, p. 655.

gines de l'Oisans, dont j'ai donné ailleurs la description (1), n'ont cristallisé qu'après avoir été soulevés jusque dans la région des neiges perpétuelles. Ils peuvent être cités comme une des meilleures preuves que les granites ne doivent pas leur cristallinité à ce qu'ils se sont solidifiés dans les profondeurs de la terre. Mais ces granites dont l'éruption a été si tardive n'avaient guère que le cortège métallifère des porphyres quartzifères, et en même temps ils n'avaient qu'une faible puissance cristalline ; car, près des points de contact avec les roches à travers lesquelles ils ont fait éruption, ils se sont consolidés à l'état d'eurites ; ce n'est que dans l'intérieur des masses que leur grain cristallin s'est développé.

Cet appauvrissement des granites produits à des époques récentes est d'autant plus remarquable, que, dans les périodes modernes, les éruptions granitiques sont devenues comparativement beaucoup plus rares qu'elles ne l'étaient dans les périodes anciennes. Elles n'ont plus été que des exceptions, et elles ont été remplacées par des éruptions d'une autre forme, quoique composées à peu près des mêmes éléments. En effet, les granites les moins anciens sont généralement les plus sujets à prendre la forme porphyroïde. Les éruptions granitiques sont devenues beaucoup plus rares vers l'époque du grès rouge ; et, à cette même époque, les éruptions de porphyres quartzifères sont devenues très nombreuses.

Les éruptions porphyriques ont différé en plusieurs points essentiels de celles des granites. Les porphyres sont souvent accompagnés de masses vitreuses (rétinites), de conglomérats porphyriques et de quelques scories, ce qui n'a jamais lieu pour les granites. La présence des conglomérats semble annoncer que les porphyres se solidifiaient par le refroidissement beaucoup plus aisément que les granites. La présence des roches vitreuses tend à confirmer cette conjecture. Les conglomérats, les roches vitreuses, les scories sont autant de traits de ressemblance entre les porphyres quartzifères et les trachytes, qui leur ont succédé et auxquels les porphyres se lient souvent. Les porphyres quartzifères, et surtout les trachytes sont un peu moins riches en silice que les granites, quoique souvent ils aient pour base des feldspaths saturés. Cette diminution dans la proportion de silice, ce changement dans la forme des éruptions, cette diminution dans la force cristalline

(1) *Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans. Mémoires de la Société d'histoire naturelle de Paris*, t. V, p. 1. — *Annales des mines*, 3e série, t. V, p. 3. — *Mémoire pour servir à une description géologique de la France*, t. II, p. 339.

sont accompagnés d'un appauvrissement dans le cortége métallifère ; car, sauf quelques exceptions qui empêchent de poser la règle d'une manière absolue, telles que l'*elvan* stannifère de la mine de Wherry, près de Peuzance en Cornouailles, et le porphyre quartzifère de la mine d'étain d'Altenberg en Saxe, on peut dire généralement que le cortége métallifère des porphyres quartzifères ordinaires se réduit à peu près à celui des roches basiques ; celui des trachytes est encore plus réduit. Les porphyres quartzifères et les trachytes sont, pour ainsi dire, des *granites éventés*.

On voit ainsi le cortége métallique des roches éruptives acidifères s'appauvrir, à mesure que leurs modes d'éruption et de cristallisation se modifient pour se réduire au mode actuel. La richesse métallique diminue en même temps que la richesse en silice et que la puissance de cristallisation ; elle diminue même plus vite, puisque les derniers granites ont été privés de la partie la plus caractéristique du cortége métallique des granites anciens. Il semblerait que les corps simples, spécialement propres aux granites anciens, se sont fixés dans les parties de l'écorce terrestre les plus anciennement consolidées, en même temps que l'action particulière à laquelle est due la cristallisation du granite a commencé à devenir moins intense et moins générale. Cette action elle-même ne s'est plus exercée que d'une manière exceptionnelle, comme dans le granite de l'île d'Elbe.

L'affaiblissement graduel de la puissance cristalline devient plus évident encore, quand on considère les effets métamorphiques éprouvés par les roches sédimentaires à travers lesquelles les trachytes, les porphyres quartzifères et les granites ont fait éruption. On reconnaît, avec évidence, des effets calorifiques plus ou moins intenses et les modifications de structure cristalline qui peuvent en résulter, dans les roches qui ont été en contact avec les trachytes et les porphyres au moment de leur éruption. Mais ces effets sont loin d'égaler ceux qu'on observe souvent au contact des granites, et surtout des granites anciens, de ceux qui n'avaient rien perdu de la puissance cristalline, de la richesse en silice et de la richesse métallique qui semblent avoir été leur cachet originaire.

En effet, si les granites se distinguent des porphyres quartzifères et des trachites, en ce qu'ils ne sont pas associés, comme ces dernières, à des roches vitreuses et à des scories, en ce qu'ils ne le sont presque jamais à des conglomérats ; ils s'en distinguent également en ce qu'il existe tant de passages entre le granite et le gneiss, entre le gneiss et le micaschiste, quelquefois même, entre le gra-

nite et le micaschiste, que la question de l'origine de ces roches est nécessairement connexe.

Je suis très porté à croire que beaucoup de micaschistes et de gneiss sont des roches d'une origine métamorphique : ce sont des roches déposées à l'état sédimentaire qui ont éprouvé un changement d'état cristallin. Cependant certains gneiss sont des roches éruptives qui, en s'étirant à la suite de leur éruption, ont pris une forme schisteuse ou plutôt fibreuse, et il est souvent difficile de distinguer les gneiss des deux origines. M. Virlet a fait voir depuis longtemps combien il est probable que certains granites ont eux-mêmes une origine métamorphique, que ce sont des dépôts sédimentaires qui ont été altérés par l'action de la chaleur et par d'autres actions, jusqu'au point d'arriver à l'état de fusion. Ces mêmes granites, d'origine métamorphique, auraient pu former des gneiss d'origine éruptive, s'ils avaient fait éruption dans des circonstances convenables. Le sédiment dont la fusion aurait produit ces granites ou ces gneiss pouvait provenir lui-même de granites plus anciens. On conçoit ainsi que l'origine des premiers granites, des gneiss anciens et des micaschistes qui s'y rattachent n'est pas complétement distincte. L'origine de ces roches est d'autant plus évidemment connexe, que les corps simples qui forment parmi les roches éruptives l'apanage distinctif des granites, se retrouvent souvent dans les gneiss et les micaschistes liés aux masses granitiques qui les renferment. Pour expliquer l'origine par voie métamorphique des gneiss et des micaschistes, il faut certainement admettre que la chaleur a joué un rôle essentiel dans l'origine du granite. Mais relativement à ces roches, comme relativement au granite, il y a aussi à tenir compte d'actions diverses, particulièrement d'actions chimiques de différentes espèces, et les considérations qui seront admises relativement à la classe particulière d'actions chimiques qui a présidé à l'origine du granite, doivent pouvoir s'appliquer au gneiss et au micaschiste, attendu que le gneiss et le micaschiste renferment, comme éléments contemporains, une quantité de minéraux qui contiennent les mêmes corps simples que j'ai signalés comme spécialement propres au granite. Ainsi la question de l'origine du granite est à la fois d'autant plus importante et d'autant plus difficile, qu'elle comprend celle de l'origine de plusieurs des roches cristallines les plus répandues à la surface du globe. C'est un vaste problème dont la question de l'origine du granite est le nœud.

Cette question paraît encore aujourd'hui fort obscure ; mais ce serait déjà un pas important de parvenir à la poser dans toute sa

généralité, et de signaler les faits principaux qui devront être expliqués simultanément. Quand même on devrait se borner pendant longtemps à grouper ces faits entre eux, on en formerait sans aucun doute un des plus intéressants chapitres de la géologie, qu'on pourrait perfectionner graduellement jusqu'à ce qu'il en découle une théorie.

Coordonnés, comme j'ai essayé de le faire dans les pages qui précèdent, les faits conduisent à penser que les parties des granites auxquelles la cause essentielle de leur forme particulière a imprimé son cachet de la manière la plus caractéristique, sont celles où abondent le plus les minéraux qui contiennent les corps simples signalés comme l'apanage spécial des granites. On peut donc concevoir que les granites types, les granites modèles, ceux dont il suffirait d'expliquer l'origine pour être sur la voie d'expliquer complétement l'origine de tous les granites et de toutes les roches qui s'y rattachent sont les *granites stannifères*, et, en général, ceux dans lesquels sont répandus en abondance les métaux de la famille de l'étain.

Mais, dans ces granites eux-mêmes, les minéraux qui contiennent ces corps simples ne sont pas disséminés complétement au hasard; ils sont particulièrement concentrés dans certaines parties des masses et surtout vers leur surface. On les trouve presque aussi fréquemment extravasés dans les roches, au milieu desquelles la masse granitique a été injectée, que répandus dans l'intérieur de cette masse à une grande distance de sa surface de contact avec les roches pénétrées. M. Daubrée remarque, à juste titre, dans son intéressant mémoire sur les amas de minerai d'étain (1), que tous les amas stannifères, quelle que soit la roche qui les renferme, granite, porphyre, gneiss ou micaschiste, se trouvent toujours près du contact avec une autre roche. Aucun de ces amas ne s'éloigne de plus de 500 mètres de la jonction de deux terrains. En pareil cas, l'une des deux roches en contact est toujours une des roches sursaturées de silice que j'ai comprises d'une manière générale dans le groupe des roches granitoïdes. Ces masses stannifères ne le sont dans toute leur étendue que lorsque leur diamètre est peu considérable et ne dépasse pas quelques centaines de mètres, ce qui est du reste assez fréquent; car les roches les plus stannifères sont souvent des masses détachées qui ont pointé en dehors les grandes masses granitiques.

Ces masses éruptives qui se distinguent par la présence de

(1) A. Daubrée, *Annales des mines*, 3e série, t. XX, p. 65.

l'étain, ou, en général, par celle des corps simples de la famille de l'*étain*, du *tantale*, du *tungstène*, etc., sont rarement formées de granite d'une composition et d'une structure ordinaires ou bien du granite normal; elles présentent le plus souvent ces diverses roches que j'ai désignées comme des dégradations ou des monstruosités du granite, telles que le granite à grandes parties, le granite graphique, l'hyalomicte (greisen), etc. Ce sont même quelquefois les parties extérieures de ces masses stannifères qui présentent de la manière la plus frappante ce caractère *ultra-granitique*, si je puis m'exprimer de la sorte. Ainsi le massif stannifère de Geyer, en Saxe, a la forme d'un cône tronqué dont le plus grand diamètre n'excède pas 260 mètres. Il est encaissé dans le gneiss et formé d'un granite dont le grain est peu développé; mais il est entouré d'une enveloppe désignée par les mineurs sous le nom de *stockscheider* épaisse de $0^m,25$ à 3 mètres, composée de granite à grandes parties dont les cristaux sont d'une grosseur extraordinaire. Il semble que la cause particulière de la cristallinité du granite soit venue ici se jouer sur la surface de la masse éruptive, de même, si cette figure n'est pas trop hors de saison, que l'électricité se porte à la surface d'un nuage.

On appréciera mieux encore les faits de ce genre en les comparant à des faits d'une nature contraire. Les granites talqueux ou *protogines* à gros grains des montagnes de l'Oisans que j'ai décrites ailleurs avec détail (1) perdent presque complétement leur cristallinité et se réduisent à peu près à des eurites dans les points où elles sont en contact avec les roches sédimentaires, à travers lesquelles elles ont fait éruption; c'est l'effet évident du refroidissement causé par le contact de ces dernières, qui, elles-mêmes, portent les traces de l'action exercée par la chaleur de la protogine et ont passé à l'état métamorphique jusqu'à une très petite distance. Ces granites, dont l'éruption est très moderne, ne possédaient évidemment la vertu métamorphisatrice qu'à un très faible degré; le contact leur faisait même perdre très facilement la faculté de cristalliser à l'état granitoïde; ils étaient, pour ainsi dire, *éventés*. Ils se sont conduits à leur surface comme des porphyres quartzifères, et ce qui est très remarquable, leur cortége métallique se réduit à celui des porphyres quartzifères et des roches basiques. Ils ne sont accompagnés que de filons plombifères et cuprifères à gangues de baryte sulfatée. Ils ne sont pas plus quartzeux près de leur surface que dans l'intérieur de la masse.

---

(1) *Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans.*

La cause qui a rendu les granites plus riches en silice que les autres roches éruptives semble aussi s'être déployée dans les gîtes stannifères avec une prédilection particulière. M. Daubrée, dans son important mémoire sur les amas de minerai d'étain que j'ai déjà cité, insiste fortement sur ce fait, que dans tous les gisements de minerai d'étain (amas ou filons), le quartz existe avec une grande abondance. Quand le granite devient stannifère, il perd sa nature ordinaire, son feldspath disparaît, il passe à une roche principalement quartzeuse renfermant peu de mica. Dans tous les amas, les petits filons sont exclusivement composés de quartz, et l'existence du quartz se lie tellement à la présence de l'oxyde d'étain, que quand les roches encaissantes sont imprégnées de ce minerai, elles deviennent, en général, plus quartzeuses, comme on le voit à Geyer et à Altenberg, en Saxe, où l'une des règles pratiques de l'exploitation est que la richesse de la roche imprégnée de particules invisibles d'oxyde d'étain, croît en proportion de sa richesse en quartz.

On voit ainsi que les caractères qui distinguent essentiellement le granite, sa cristallinité, sa richesse en silice et sa richesse métallique, atteignent de concert leur maximum de développement dans les mêmes points et très probablement par les mêmes causes.

Nous ferions un nouveau pas vers la découverte de ces causes, si nous pouvions nous rendre un compte exact du rôle que le quartz a joué lors de la cristallisation du granite. Ce rôle paraît encore extrêmement problématique et a donné lieu, dans ces derniers temps, à d'importantes discussions.

Les écrits récents de M. Fuchs et de M. de Boucheporn ont rappelé l'attention des minéralogistes et des géologues sur ce fait que le quartz renfermé dans les granites porte l'empreinte des formes cristallines des minéraux qui l'accompagnent. Ainsi, toutes les collections minéralogiques contiennent des morceaux de quartz hyalin portant l'empreinte extérieure d'aiguilles de tourmaline, et présentant les traces de leurs moindres stries plus exactement qu'on ne pourrait les prendre avec la cire. Dans d'autres cas, c'est le feldspath, ce sont des grenats ou d'autres silicates dont le quartz a pris le moule.

Ces phénomènes paraissaient très simples aux géologues qui admettaient l'origine neptunienne du granite; ils les rapprochaient de ceux dans lesquels la silice contenue dans des dissolutions a opéré cette multitude de pétrifications de coquilles, de polypiers, de bois, dont toutes les collections abondent et qui font admirer la finesse du travail lapidifique.

Mais, depuis que l'origine éruptive et ignée du granite a été démontrée, ces mêmes faits sont devenus autant de difficultés. Comment, en effet, concevoir qu'un corps aussi réfractaire que la silice ne se soit consolidé qu'après des corps aussi fusibles que la tourmaline, le feldspath, le grenat?

Plusieurs explications de ce phénomène singulier ont été proposées; je ne parlerai que des plus plausibles.

M. Fournet, professeur de minéralogie et de géologie à la Faculté des sciences de Lyon, a pensé que la silice pourrait jouir à un très haut degré de la propriété de la *surfusion*. La température de la fusion d'un corps et la température à laquelle il se consolide en se refroidissant ne sont pas nécessairement identiques. La glace fond à 0°; mais l'eau, lorsqu'elle se refroidit dans des circonstances convenables, peut conserver sa liquidité à plusieurs degrés au-dessous de 0°. Le soufre fond à 170° centigrades; mais le soufre refroidi dans certaines circonstances peut rester mou jusqu'à la température ordinaire; le phosphore possède une propriété analogue. Pourquoi la silice ne jouirait-elle pas d'une propriété du même genre dans un intervalle de température plus grand encore?

Non seulement on ne peut le nier, mais on peut assurer que la silice jouit de cette propriété dans une très large mesure. La silice est, en effet, parmi tous les corps connus, un de ceux où les changements de cohésion qui accompagnent le passage de l'état solide à l'état liquide, et surtout de l'état liquide à l'état solide, embrassent le plus grand intervalle thermométrique. Elle ne fond qu'au chalumeau de gaz oxygène et hydrogène, à une température qui a été évaluée à 2800° centigrades; mais, lorsqu'elle a été fondue, on peut l'étirer en fils, comme l'a fait M. Gaudin, à une température beaucoup plus basse. Quoiqu'elle ne fonde qu'à une température double de celle de la fusion du fer, on peut l'étirer en fils à une température inférieure à la chaleur rouge, c'est-à-dire à une température qui surpasse moins la température ordinaire, à laquelle le fer ne s'étire plus en fils qu'assez difficilement, que la température de sa fusion ne surpasse celle de la fusion du fer. L'intervalle thermométrique pendant lequel elle est malléable est donc plus grand pour elle que pour le fer; mais le fer est presque également malléable à un même degré thermométrique, soit qu'on l'y ait porté à partir d'une température plus basse en le chauffant, ou à partir d'une température plus élevée en le refroidissant. Il y a toutefois une légère différence qu'on observe dans le fil de fer *recuit*, c'est-à-dire chauffé et refroidi. Pour la silice,

la différence est infiniment plus grande. Le quartz est un corps très réfractaire qui conserve probablement sa rigidité presque jusqu'au moment où il entre en fusion ; mais, après avoir été fondu, il reste malléable, comme on vient de le voir, jusqu'à une température bien inférieure à son point de fusion.

Je ne crois cependant pas que ce soit là la seule et véritable raison de la faculté qu'a possédée le quartz de prendre les empreintes de la tourmaline et d'autres minéraux facilement fusibles.

L'observation montre non seulement que le granite ne s'est consolidé qu'à une température assez peu élevée, mais qu'il n'a pas même fait éruption à une température aussi élevée, à beaucoup près, que celle qui est nécessaire pour fondre le quartz. S'il avait possédé, au moment de son éruption, une température égale à celle qu'exige la fusion du quartz, il aurait fondu toutes les roches avec lesquelles il se serait trouvé en contact, même les quartzites purs. Or, on observe, au contraire, que le contact du granite n'a fondu que des roches extrêmement fusibles. Son action s'est le plus souvent bornée à les faire passer à l'état métamorphique sans faire disparaître leur stratification.

On pourrait chercher à expliquer ce résultat, en disant que le granite a été fondu, dans l'intérieur du globe, à une température capable de fondre le quartz ; mais que, dans les cas auxquels je viens de faire allusion, il n'a pénétré dans les fentes où il a formé des filons, qu'à une température déjà très réduite ; or, l'examen des roches stratifiées qui sont devenues métamorphiques au contact des granites, réfute complétement cette supposition ; car il est évident que le quartz qu'elles contiennent a été dans le même état de mollesse que celui du granite lui-même ; il a pris de même l'empreinte de minéraux plus fusibles que lui, tels que la tourmaline, le grenat, etc.

Pour pouvoir prendre l'empreinte d'une tourmaline ou d'un grenat, le quartz a dû nécessairement être amolli ; mais il n'a pas eu besoin d'être fondu. Il est même certain qu'il a produit ce phénomène sans avoir été fondu ; car on l'observe dans les petites masses de quartz renfermées dans le micaschiste. Or, si le micaschiste est une roche métamorphique, comme on l'admet généralement aujourd'hui, il est certain que les agents quelconques qui l'ont fait passer à l'état métamorphique ne l'ont pas fondue, puisqu'elle a conservé sa stratification originaire, et que, par conséquent, ils n'ont pas fondu le quartz qu'elle renferme. On peut supposer, à la vérité, qu'une partie au moins du quartz qui forme

des ganglions dans les micaschistes y a été introduite à la suite de l'éruption du granite ; mais il serait difficile de concevoir que cette introduction ait toujours eu lieu à une température assez basse pour que le quartz ne fonde pas le mica, et cependant assez élevée encore pour que sa mollesse lui permette de se mouler sur ce minéral.

La silice possède une seconde propriété qu'on met en jeu tous les jours dans les verreries et dans les analyses de minéraux, celle de fondre et de produire un verre, lorsqu'on la chauffe avec des substances qui ont pour elle assez d'affinité pour l'attaquer, à une température bien inférieure à celle de sa propre fusion. Cette silice, séparée par la voie humide, au moyen d'un acide, des substances qui l'ont attaquée, reste, à la température ordinaire, à l'état gélatineux, et la silice gélatineuse ne se durcit qu'à la longue. Elle finit cependant quelquefois par devenir très dure, et, au moyen de l'éther silicique, M. Ebelmen en a obtenu qui avait presque la dureté du quartz. Cette silice qui, pendant longtemps, reste molle à la température ordinaire, présente, en quelque sorte, une seconde espèce de surfusion, et on pourrait admettre que c'est cette *surfusion chimique* ou *gélatineuse* qui a été mise en jeu dans la formation des roches granitiques.

Cependant, M. Durocher, ingénieur des mines, professeur de minéralogie et de géologie à la Faculté des sciences de Rennes, a proposé une autre hypothèse. L'eau mélangée de sels reste liquide à une température bien inférieure à celle de la congélation de l'eau pure et de la solidification des sels anhydres; les laitiers des hauts-fourneaux coulent à une température bien inférieure à celle à laquelle se solidifieraient les substances qui les composent, fondues isolément. Le granite fondu doit, par la même raison, rester fluide ou mou à une température inférieure à celle à laquelle se solidifieraient le quartz, et, peut-être même, le feldspath et le mica fondus isolément.

Cette considération ingénieuse semble, au premier abord, répondre à toutes les exigences de la question ; mais renferme-t-elle à elle seule la solution du problème ? Je crois qu'il est permis d'en douter.

Il n'existe pas une relation constante entre la forme que le granite a prise et la marche que son refroidissement a dû suivre, eu égard à la grandeur de la masse et à la place que chaque partie y occupe. Souvent des filons peu épais ont un grain gigantesque, tandis que de grandes masses granitiques sont partout à petits grains. On remarque fréquemment, il est vrai, que le granite a un grain

un peu plus fin, près du contact des roches au milieu desquelles il a été injecté, que dans le centre des masses; mais la différence n'est pas très grande et n'est pas même constante; quelquefois on observe une disposition inverse. Si le granite n'était qu'une roche où tous les éléments aient été à l'état de fusion par la seule action de la chaleur, on ne verrait pas bien pourquoi toutes les masses de granite ne seraient pas enveloppées à l'extérieur par une écorce d'eurite ou de porphyre. Les éléments ayant été saisis instantanément par le froid, au contact de l'air ou au contact des roches dans lesquelles le granite a pénétré, il devrait y avoir une écorce de porphyre ou d'eurite; mais c'est ce qu'on n'observe pas généralement : les parties extérieures, quoique souvent le granite y soit à grains plus fins, sont généralement à l'état granitique; quelquefois même elles ont un grain plus gros que l'intérieur de la masse, comme on le voit d'une manière si remarquable dans le *Stockscheider* de Geyer, que j'ai mentionné il y a un instant.

Dans l'hypothèse proposée par M. Durocher, le granite aurait dû sa liquidité à ce que le feldspath, le quartz et le mica auraient été en dissolution l'un dans l'autre, et auraient formé une sorte d'alliage fusible. Mais cela ne rend pas raison de ce phénomène très frappant, qu'il y a de grandes masses dans lesquelles le feldspath se trouve presque seul, et qui sont extrêmement cristallines; d'autres dans lesquelles le quartz ou le mica se trouvent seuls, qui sont aussi cristallines à la manière du granite, et qui ne sont véritablement que des dégradations du granite. Les trois éléments habituels du granite, le feldspath, le quartz et le mica, sont en effet bien loin de s'y trouver dans des proportions constantes. Souvent un ou deux de ces éléments disparaissent presque en entier ou sont remplacés par d'autres éléments, sans que l'aspect et la manière d'être de la roche indiquent qu'elle ait été formée autrement que le granite normal. Le feldspath lamelleux, l'hyalomite, l'hyalo-tourmalite, la minette, et même certaines masses purement quartzeuses, sont des monstruosités ou des dégradations extrêmes du granite que rien ne conduit à supposer formées autrement que le granite ordinaire.

Or, si, d'une part, ces monstruosités du granite se sont formées à peu près de la même manière que le granite normal, il est certain aussi que leur mode de formation a peu différé de celui des filons quartzeux; elles se lient en même temps aux filons quartzeux par les formes diverses des gîtes stannifères, qui passent insensiblement aux filons stannifères les plus réguliers, lesquels ne sont que le premier anneau de chaîne des filons métalliques

dans lesquels il est évident que le quartz a été déposé par l'action des eaux, ainsi que nous l'avons constaté précédemment.

J'ai attiré, il y a quelques années, l'attention de l'Académie des sciences sur de nombreuses observations de M. Rozet, qui me paraissent tendre à établir cette liaison entre les granites et les filons quartzeux ordinaires, par l'intermédiaire de certains gîtes minéraux qui, sans renfermer d'étain, rentrent d'une manière générale dans la catégorie des gîtes stannifères par les minéraux qu'ils renferment (1). Je remarquais, en effet, que M. Rozet, dans ses *Mémoires sur les montagnes situées entre la Saône et la Loire*, a décrit un grand nombre de masses de quartz de natures et de gisements divers, qui semblent établir une chaîne presque continue entre deux classes de masses minérales d'origine probablement très différentes et en quelque manière opposées, les *pegmatites* et les *arkoses* à ciment quartzeux. Je citais, d'après M. Rozet, les pegmatites des environs d'Autun, comprenant une très belle variété du granite graphique, qui se trouvent en filons et en masses transversales dans le gneiss, et qui ont apporté des tourmalines et des émeraudes. Près de Marmagne et de Saint-Symphorien, on trouve des émeraudes en abondance dans les fragments de roches employées à ferrer les routes. Dans le gneiss et le granite de la même contrée, il existe des filons de quartz, avec mica, analogues à ceux qu'on rencontre habituellement dans les gîtes stannifères de la Saxe et du Cornouailles. Au S.-E. de Chiseuil, près de Bourbon-Lancy, on observe une grande masse de quartz ferrugineux, quelquefois semi-vitreux, contenant de grandes paillettes de mica argentées, qu'on peut considérer comme un hyalomicte. Au pied S.-E. du Pilas, sur le plateau de Condrieux, dans le département du Rhône, on trouve, au milieu du granite et du gneiss, du quartz blanc, semi-nitreux, enfumé quelquefois, jaspoïde, qui s'élève sous la forme de cônes irréguliers. Le quartz est fréquemment soudé au granite qu'il traverse, et il enveloppe souvent des fragments de granite de différentes grosseurs. A la base des cônes, le quartz pousse dans le granite des ramifications divergentes, comme si celui-ci avait été *étoilé* pour le recevoir. Ces masses de quartz paraissent donc avoir fait éruption à la manière des porphyres et des granites, et, quoiqu'on n'y trouve ni feldspath, ni mica, on peut les considérer,

---

(1) *Rapport sur quatre Mémoires de M. Rozet.* (*Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, t. XI, p. 264. 1841.)

de même que les masses de quartz qui font partie des amas stannifères, comme une monstruosité du granite réduit accidentellement à un seul de ses éléments.

Ce quartz ne diffère cependant du quartz qu'on trouve en si grande abondance dans les filons plombifères et dans les arkoses, qu'en ce qu'on n'y trouve pas la baryte sulfatée, le spath-fluor et la galène, si habituellement répandus dans les derniers, et on ne peut guère supposer que son origine ait différé très essentiellement de celle des quartz des arkoses, dont le dépôt par voie humide est si évident. Ce quartz éruptif renferme, sur le plateau de Condrieux comme à Chiseuil, des traces d'oxyde de fer. On voit par là qu'il a fait éruption à une température trop basse pour former des silicates, et on a, d'ailleurs, la preuve du peu d'élévation de la température à laquelle il a fait éruption, dans les fragments de granite qu'il renferme, et qui ne présentent aucune trace de l'action d'une température élevée.

Ce cas est un de ceux où la fusibilité qui résulte du mélange d'éléments de natures diverses, ne facilite en rien l'explication du phénomène, et on est ramené à choisir entre l'hypothèse de la *surfusion purement ignée* et celle de la *surfusion gélatineuse*.

Cette dernière est beaucoup plus en harmonie avec les analogies qui existent entre les quartz éruptifs dont nous parlons, et les quartz d'origine évidemment aqueuse qu'on trouve dans les filons plombifères et dans les arkoses. On observe dans ces contrées une foule de veines de quartz qui se lient, d'une part, aux quartz des arkoses, et de l'autre aux cônes quartzeux éruptifs; et si l'on admettait que l'eau a joué un rôle dans la formation des premiers, et a été complétement étrangère à la formation des seconds, la ligne de démarcation entre ces deux espèces de quartz, d'origines si différentes, serait très difficile à établir.

Mais il est probable que l'eau a joué un rôle dans la formation de tous ces quartz, et qu'elle n'a pas même été étrangère à la formation des granites dont les cônes quartzeux éruptifs ne sont qu'une forme particulière et, en quelque sorte, une monstruosité.

M. Scheerer, de Christiania, a développé des idées toutes nouvelles à cet égard dans un mémoire publié récemment et dont M. Frapolli a consigné la traduction dans le présent volume du *Bulletin*, page 468. L'hypothèse qu'il propose pour expliquer l'état cristallin des granites est complétement différente de celles de M. Fournet et de M. Durocher. Il cite d'abord des faits nombreux, et particulièrement la présence dans le granite des *minéraux pyro-*

gnomiques, pour montrer que cette roche était à une température médiocrement élevée au moment de sa consolidation. M. Scheerer a donné le nom de *minéraux pyrognomiques* à certaines substances qui possèdent la propriété de produire instantanément une lumière spontanée plus ou moins vive, dont l'apparition est accompagnée par un dégagement de chaleur, à une température dépassant à peine le *rouge-brun*. Ces minéraux, durant leur combustion apparente, subissent des modifications très sensibles dans leurs propriétés physiques, tandis que leur composition chimique reste la même, sauf peut-être une certaine diminution dans la quantité d'eau qu'ils contiennent quelquefois. Plusieurs *gadolinites*, *orthites*, *allanites*, sont *pyrognomes* au plus haut degré. Si ces minéraux, qui, de même que les tourmalines, se sont solidifiés avant le quartz, s'étaient formés dans un fluide incandescent, ils auraient dû rester soumis à une haute température longtemps encore *après leur solidification*. Mais alors comment auraient-ils acquis et conservé leurs propriétés pyrognomiques? Il me semblerait difficile de répondre à l'argument de M. Scheerer. Les minéraux pyrognomiques renfermés dans le granite me paraissent équivaloir à des *pièces d'essai* démontrant qu'au moment où ils ont cristallisé et à plus forte raison au moment de la solidification du quartz qui s'est moulé sur eux, le granite était à une *température inférieure au rouge-brun*. Je trouve donc difficile de ne pas admettre avec M. Scheerer que *l'hypothèse d'un état primitif de fusion simplement ignée du granite, quoique les phénomènes du contact soient en faveur de cette hypothèse, n'est pas justifiée par la nature intime de la masse granitique elle-même*. Il est démontré qu'à l'origine le granite formait une *masse plastique*, et il n'est pas du tout improbable que cette masse possédât alors une très haute température, mais il est certain en même temps que cette masse n'a pu être à l'état de fusion simplement ignée.

M. Scheerer a donné aussi beaucoup de motifs pour établir que le granite en fusion renfermait de l'eau. Plusieurs minéraux contenant de l'eau se trouvent dans le granite, et M. Scheerer a pensé que le granite en fusion devait renfermer de l'eau, qu'il en renfermait au moment où il a fait éruption, qu'il a conservé de l'eau jusqu'à son refroidissement définitif, que cette eau a pu jouer un rôle dans les phénomènes de sa solidification; il a essayé de rattacher cette supposition à des considérations très ingénieuses sur la composition de différents minéraux et sur ce qu'il a appelé l'*isomorphisme polymère*. Il a cherché en outre à déterminer la quantité d'eau qui pouvait être contenue dans le granite encore mou,

et il a reconnu d'abord que cette quantité devait être inférieure à celle qui aurait été nécessaire pour tenir toutes les bases à l'état d'hydrate, car il en aurait fallu pour cela environ 50 pour 100 en poids, et comme l'eau est plus légère que ces mêmes bases, cela aurait fait beaucoup plus de 50 pour 100 en volume. Or, il est impossible d'admettre que le granite, au moment de son injection, ait renfermé une pareille quantité d'eau, dont la disparition aurait occasionné une contraction énorme, et d'autant plus grande, que les éléments du granite éprouvent eux-mêmes, en se solidifiant, une contraction considérable, qui, d'après les expériences de M. Deville, est de plus de 10 pour 100. M. Scheerer se borne donc à admettre qu'il pouvait exister 2 ou 3 pour 100 d'eau dans le granite au moment où il a fait éruption.

Je ne vois en effet aucune difficulté à supposer que le granite renfermait de l'eau quand il a fait éruption, car cela se réduit à admettre que le granite ressemblait, sous ce rapport, aux roches volcaniques, aux laves des volcans actuels, qui, au moment où elles arrivent au jour, contiennent une grande quantité d'eau qui s'en dégage sous forme de vapeurs et dont elles mettent souvent plusieurs années à se débarrasser complétement.

Le fait de la présence de l'eau dans les laves en fusion, devenu familier à tous ceux qui ont étudié les volcans, semble paradoxal aux personnes qui en entendent parler pour la première fois. Cela tient à ce que les idées de la masse du public et le *langage* même de la science, sont restés sur ce point à la hauteur de la *théorie des quatre éléments*, au gré de laquelle le feu et l'eau sont deux principes antagonistes et antipathiques.

Il n'est pas absolument nécessaire que l'eau ait été retenue en très grande quantité dans le granite pour avoir produit sur sa solidification et sur la cristallisation des effets très marqués. Les propriétés de l'acier et de la fonte, comparées à celle du fer forgé, montrent quelle influence exerce une très petite proportion de carbone ou de graphite. Les propriétés si diverses et la cristallisation si différente des diverses espèces de fonte montre quels puissants effets peut exercer une très petite proportion d'un corps étranger, tel que le silicium, le phosphore, le manganèse. Pourquoi une quantité d'eau, même très minime, n'aurait-elle pas produit des effets du même genre dans le granite pendant tout le temps où elle y aurait été retenue?

Or, il me paraît probable que si le granite renfermait de l'eau au moment de son éruption, cette eau s'en est dégagée beaucoup plus lentement encore que celle que les laves renferment en arrivant

au jour et qui s'en dégage au fur et à mesure que le refroidissement de leurs diverses parties atteint une certaine limite. Je suis conduit à cette conjecture en remarquant, d'abord, que le granite n'est jamais accompagné de scories ni de masses vitreuses; car on sait que les scories sont dues au boursouflement que la lave en fusion éprouve lorsque l'eau en vapeur la traverse rapidement, et les masses vitreuses, qui contiennent souvent des matières volatiles, paraissent devoir leur structure à un refroidissement opéré assez rapidement pour que le dégagement de ces matières fût impossible; j'y suis également amené en comparant l'état d'intégrité des cristaux de feldspath qui entrent dans la composition du granite à l'état éminemment fendillé des cristaux feldspathiques qui existent dans les laves, et surtout dans les trachytes. Cet état fendillé du feldspath dans les roches volcaniques peut en effet être attribué, avec beaucoup de vraisemblance, au dégagement rapide de la vapeur d'eau, et l'état beaucoup moins fendillé du feldspath dans les granites pourrait tenir à ce que le dégagement de l'eau a été moins subit dans les granites que dans les roches volcaniques telles que les trachytes. Peut-être aussi l'eau existait-elle dans le granite en fusion en proportion moindre que dans les laves qui coulent de nos volcans : les effets si marqués que je suis porté à lui attribuer résulteraient de ce qu'elle y aurait été retenue jusqu'à une température beaucoup plus basse que celle à laquelle elle se dégage des laves. Une petite quantité d'eau, se dégageant par degrés à une température peu élevée, n'a pu produire de scories, et sa présence n'a jamais fait naître de matières vitreuses. La présence de la silice libre a pu contribuer à retenir l'eau, et cette eau, pendant tout le temps qu'elle a été retenue dans les granites, a pu contribuer, à son tour, à maintenir la silice dans un état de mollesse analogue à l'état gélatineux.

Mais je présume que l'action réciproque de la silice et de l'eau, n'a pas été la seule ni même la plus énergique pour retenir cette dernière; car il ne faut jamais oublier que les feldspaths lamelleux qui ne renferment pas de quartz libre présentent une cristallinité analogue à celle des granites. Je suis donc porté à croire que l'action de l'eau a été secondée dans les granites par quelque action chimique ou physique très particulière et très énergique, et ce qui me conduit plus encore à le penser, c'est la présence de cette multitude de corps simples que j'ai signalée comme l'attribut caractéristique des granites.

L'eau n'est pas la seule matière volatile qui existe dans les laves au moment de leur éruption. Elle y est accompagnée de différents

sels, tels que le chlorure de sodium, le chlorure de fer, l'hydrochlorate d'ammoniaque, que la vapeur entraîne en se dégageant, et qui se déposent près de la surface refroidie de la lave où ils deviennent souvent un objet d'exploitation.

Les minéraux qui contiennent les corps simples, signalés comme appartenant aux granites, me paraissent y avoir joué un rôle analogue à celui que les sels dont je viens de parler jouent sous nos yeux dans les laves ; mais cela suppose l'action d'agents plus énergiques que ceux qui sont en action lors du refroidissement des coulées volcaniques

Les émanations des granites que j'ai désignées ci-dessus sous le nom d'*aura granitica* devaient être une vapeur singulièrement active et probablement très délétère. Si l'acide hydrochlorique et l'hydrogène sulfuré sont nécessaires pour amener aujourd'hui à la surface du globe des corps aussi sensibles à l'action des réactifs que le fer, la soude, l'ammoniaque, quelle ne devait pas être l'activité d'agents capables d'entraîner des corps aussi réfractaires que le tungstène, le molybdène, le tantale, le pelopium, le niobium, etc. ?

Dans son savant et ingénieux mémoire sur les amas de minerais d'étain, M. Daubrée fait observer qu'après le quartz, qui prédomine toujours dans les filons stannifères, les petits filons, les veines, et dans la roche encaissante les satellites les plus constants de l'étain sont les *composés fluorés*, principalement les fluo-silicates, quelquefois les fluo-phosphates ou des fluorures. Ainsi, les micas qui accompagnent les minerais d'étain sont, en général, riches en fluor. La topaze, la picnite, qui renferment encore plus de fluor que ces micas, se rencontrent très fréquemment dans les stockverks d'étain, etc. M. Daubrée pense donc que le fluor a joué un rôle important dans la formation des amas stannifères ;.... qu'il a été dans leur formation un agent tout aussi actif que l'ont été le soufre et les combinaisons sulfurées dans la plupart des autres gîtes métalliques.

Le fluorure d'étain, ajoute M. Daubrée, étant une combinaison stable à toutes les températures et très volatile, on peut croire que l'étain est arrivé, des profondeurs qui paraissent être le réservoir des métaux, à l'état de fluorure ; il en est probablement de même du tungstène et du molybdène, compagnons fidèles de l'étain. Le bore ayant une grande affinité pour le fluor et formant avec lui une combinaison indécomposable par la chaleur et très volatile, on est porté à supposer que le transport de ce corps s'est fait aussi à l'état de fluorure. Enfin, le silicium, qui abonde à

l'état de silice dans les gîtes d'étain, se comporte avec le fluor d'une manière analogue au bore, et il est également naturel d'admettre qu'une partie de la silice est arrivée sous forme d'acide fluo-silicique. Je crois qu'on pourrait ajouter à l'appui, et comme complément de l'idée lumineuse de M. Daubrée, que l'acide phosphorique est aussi très abondant dans tous les gîtes de minéraux qui contiennent les métaux de la famille de l'étain, du tantale, du tungstène; que le chlore s'y trouve aussi quelquefois; que les pyrites, et par conséquent le soufre, n'y sont pas étrangers.

De là je serais porté à conclure que le composé volatil renfermé dans le granite avant sa consolidation, contenait non seulement de l'eau, du chlore, du soufre, comme la matière qui se dégage des laves lorsqu'elles se refroidissent, mais qu'il contenait en outre du fluor, du phosphore et du bore, ce qui lui donnait beaucoup plus d'activité et la faculté d'agir sur beaucoup de corps sur lesquels la matière volatile contenue dans les laves n'a qu'une action comparativement insignifiante. L'action énergique de ces substances réunies, sur la silice libre ou combinée, qui existe dans le granite, pouvait les faire adhérer à cette roche plus énergiquement, et les mettre dans le cas de s'en séparer plus lentement et à une plus basse température que ne le font les substances qui sont contenues dans les laves en fusion, et qui s'en dégagent lorsque les laves se refroidissent au-delà d'un certain degré.

La présence de ces substances paraît avoir eu pour effet de suspendre la cristallisation du granite, et de la suspendre jusqu'à un refroidissement d'autant plus avancé qu'elles étaient plus concentrées. Les granites n'ont cristallisé qu'après qu'elles étaient dissipées ou fixées; mais lorsqu'ils ont été mis en contact avec des corps froids, après que ces substances avaient disparu, ils n'ont plus résisté aussi énergiquement à leur action coagulante, et ils se sont immédiatement consolidés sans que leur grain cristallin ait pu se développer. Ils se sont alors conduits comme presque toutes les autres roches éruptives. Les granites talqueux de l'Oisans, que j'ai déjà cités plus haut, offrent un exemple remarquable de ce fait.

Dans la supposition qui vient d'être énoncée, une des différences les plus essentielles entre les granites et les laves des volcans actuels aurait consisté dans la nature des substances qui y étaient renfermées lorsqu'ils étaient mous, et qui s'en sont dégagées au moment de leur solidification. Cette supposition me paraît d'autant plus plausible, qu'elle répond pleinement à l'analogie que j'ai signalée

entre la manière dont sont distribués dans les granites les minéraux qui contiennent les corps simples signalés précédemment comme l'attribut caractéristique de ces roches, et la manière dont se distribuent, dans les fissures et près de la surface des laves solidifiées, les chlorures et les autres sels ou acides qui s'en dégagent.

Les corps simples propres aux granites, et les minéraux qui les renferment, ne s'y trouvent pas tous en même temps. Ils se remplacent souvent les uns les autres, de même que les chlorures de sodium et de fer et l'hydrochlorate d'ammoniaque ne se dégagent pas tous de toutes les laves avec une égale abondance. De plus, les minéraux qui contiennent ces corps caractéristiques sont bien loin de se trouver disséminés uniformément dans toutes les masses granitiques et dans toutes les parties d'une même masse. Ils sont concentrés dans certaines parties de ces masses, et surtout près de leurs surfaces, et dans les ramifications que ces masses ont poussées à travers les roches préexistantes. Ils s'observent aussi dans les roches stratifiées qui environnent le granite, et qui souvent sont des roches cristallines que le contact du granite a contribué à faire passer à l'état métamorphique; mais ils ne se rencontrent pas non plus indifféremment dans toutes les parties de ces dernières roches; ils se trouvent le plus ordinairement dans certaines zones qui avoisinent et enveloppent le granite, dans les parties adjacentes duquel une partie d'entre eux existe en même temps. Ces corps marquent ainsi la zone extérieure de l'espace dans lequel a agi la cause de la cristallisation du granite, mais on les trouve quelquefois plus nombreux et plus concentrés encore dans les gîtes stannifères irréguliers dérivant des ramifications du granite qui ont pénétré les masses adjacentes, et dans les filons stannifères, qui sont généralement plus anciens que tous les autres filons, et qui semblent avoir été les premières *fumaroles des masses granitiques*.

En prononçant le mot de *fumaroles granitiques*, je ne prétends pas soutenir que le granite ait eu des fumaroles absolument analogues à celles des laves des volcans actuels. Le dégagement des substances y était peut-être beaucoup plus lent, et cette lenteur aurait été propre à favoriser la concentration des substances entraînées près de la surface, de même que les substances qui se dégagent des volcans se concentrent surtout et forment des solfatares, lorsque le dégagement de la vapeur est réduit à son minimum d'activité.

Peut-être d'ailleurs des causes physiques, difficiles à apprécier, parce qu'elles n'ont laissé aucune trace, se sont-elles jointes aux

actions pour lesquelles on trouve un terme de comparaison dans les volcans actuels.

On pourrait croire, par exemple, que l'électricité a joué un grand rôle dans les phénomènes qui ont accompagné la solidification des granites. Il me paraît difficile de ne pas le soupçonner, lorsqu'on remarque que plusieurs des minéraux qui caractérisent les granites les plus cristallins, ces granites singuliers où nous avons conclu que les phénomènes essentiels à la formation des granites se sont développés avec le plus d'intensité, que plusieurs de ces minéraux, tels que la tourmaline et la topaze, sont *électriques par la chaleur*. Ces minéraux, dont la solidification a précédé celle du quartz, se sont certainement formés à une température élevée. Par conséquent, *ils se sont formés électrisés*. Dès lors, il est difficile de ne pas admettre que l'électricité a joué un rôle dans leur formation, et il paraît naturel de croire qu'elle en a joué un aussi dans la formation des masses cristallines au milieu desquelles ils ont pris naissance. A moins d'admettre que le quartz ne s'est consolidé qu'après s'être abaissé tout à fait à la température ordinaire, on doit admettre que, lorsque le quartz est venu se mouler sur une tourmaline, celle-ci était électrisée, et il est difficile de ne pas admettre que son électricité ait joué un rôle dans l'agrégation du quartz. Mais le rôle de l'électricité peut avoir été plus considérable : il serait difficile de rien préciser à cet égard.

Il n'y a pas lieu de s'étonner qu'il reste encore, dans tous ces phénomènes, quelque chose de très problématique, et pour ainsi dire de mystérieux ; car les phénomènes actuels auxquels on peut les comparer, sont eux-mêmes singulièrement mystérieux.

Ainsi, pourquoi l'eau et les sels existent-ils, pour ainsi dire, en dissolution dans les laves à l'état incandescent? C'est un phénomène aussi singulier que certain. Ce phénomène a sans doute des analogies avec d'autres que nous produisons dans les laboratoires; mais ceux-ci ne sont guère plus expliqués. Par exemple, quand on fond de l'argent dans un fourneau, l'argent absorbe l'oxygène de l'air, et il le conserve jusqu'au moment où il se refroidit; en le laissant ensuite dégager à travers sa surface déjà solidifiée, tandis que les parties intérieures de sa masse sont encore à l'état de fusion, il produit de petites éruptions analogues à celles des volcans, et qui sont même beaucoup plus considérables relativement à sa masse, que nos plus grands volcans par rapport à celle du globe terrestre : c'est ce qu'on appelle le *rochage* de l'argent. La croûte de l'argent se trouve brisée, et l'argent en fusion dans l'intérieur est lancé à travers les fissures par l'oxygène qui se dégage, de

manière à reproduire en petit les principales circonstances des éruptions volcaniques.

Ce phénomène est connu depuis longtemps : il a été souvent décrit, mais on ne l'explique pas d'une manière très satisfaisante. Il y a d'autres phénomènes encore plus simples, qu'on n'explique pas davantage, mais dont il est naturel de le rapprocher. Tels sont ceux que présente l'*état sphéroïdal des corps*. Cet état se manifeste dans une goutte d'eau qu'on place dans un creuset de platine *incandescent*. Loin de s'évaporer immédiatement, elle forme dans le fond du creuset une masse sphéroïdale qui ne s'évapore que très lentement, qui même s'abaisse à une température très basse, de manière qu'en s'y prenant convenablement, on peut faire plonger la boule d'un thermomètre dans le creuset incandescent, et l'y voir baisser considérablement. M. Boutigny a même réussi à congeler de l'acide sulfureux, en le projetant dans un creuset de platine incandescent. Les liquides à l'état sphéroïdal, après être restés comme paralysés dans le creuset incandescent, prennent leur essor en se volatilisant subitement dès que la température du creuset s'abaisse au-dessous d'un certain degré.

Ce paradoxe physique tient à des propriétés très peu connues. Il ne me paraît pas absurde de présumer que ces propriétés, quelles qu'elles puissent être, sont les mêmes que celles en vertu desquelles l'eau est retenue dans les laves, sans se vaporiser, tant qu'elles sont incandescentes, et se dégage à l'état de vapeur lorsqu'elles se refroidissent au-dessous d'un certain degré. Comme l'eau chargée de diverses substances ne produit pas des effets identiques, lorsqu'on la projette dans un creuset incandescent, on peut concevoir que l'eau contenue dans les granites, où elle était chargée de substances beaucoup plus énergiques que dans les laves, s'en soit dégagée d'une manière différente. Mais lorsqu'on passe aux granites, on a à joindre aux singularités qui peuvent dépendre de l'état sphéroïdal d'un mélange d'eau et de diverses substances, celles qui peuvent résulter aussi de phénomènes électriques et celles qui peuvent tenir aux propriétés particulières de la silice, à sa surfusion purement thermométrique, ou à sa surfusion chimique et à son état gélatineux rendu compatible avec une température élevée par le phénomène paradoxal sans doute, mais indiqué par l'analogie, qui empêchait l'eau de se dégager.

Quelque précaire que soit sans doute cette explication, on pourrait soutenir qu'elle est, jusqu'à un certain point, au niveau de l'état présent de la science, puisqu'on n'est arrêté pour la développer da-

vantage que par l'imperfection des connaissances actuelles sur la nature intime des phénomènes physiques qu'on est conduit à invoquer. Il faudra probablement attendre, pour la soumettre à une critique plus sévère, que ces phénomènes aient été étudiés d'une manière plus approfondie, et même qu'ils aient été étudiés sur de grandes masses, car ils sont probablement du nombre de ceux où les choses ne se passent pas exactement de la même manière en grand et en petit, dans la durée d'une expérience de laboratoire et dans les longues périodes pendant lesquelles les phénomènes naturels se sont développés dans les grandes masses de la nature minérale.

Mais si l'explication qui me paraît aujourd'hui la plus probable doit un jour être modifiée ou remplacée par une autre, il faudra toujours que cette dernière s'adapte aux faits généraux que j'ai signalés relativement à la distribution des corps simples dans l'écorce minérale du globe terrestre. Cette distribution, représentée par le tableau placé à la fin de la présente note, peut encore donner lieu à quelques remarques par lesquelles je terminerai ce résumé déjà beaucoup trop étendu.

L'ordre dans lequel sont placées les colonnes 2 à 9 du tableau représente à peu près la gradation des phénomènes qui ont présidé à la formation des masses minérales, et la comparaison des proportions inégales et des états de combinaison divers dans lesquels se trouvent les corps simples qui y sont indiqués, fournit de précieuses lumières sur la marche que la nature a suivie pour amener la surface du globe à son état actuel.

Les colonnes 2, 3 et 4 se rapportent à des phénomènes dans lesquels les affinités développées par la seule action de la chaleur ont joué un rôle prépondérant. Ce sont, en effet, ces affinités qui déterminent la formation des silicates, dont sont presque uniquement formées les laves des volcans actuels, les roches produites par des volcans anciens et les roches basiques. On est parvenu à reproduire presque tous ces silicates, de toutes pièces, dans des fourneaux, par la seule action de la chaleur sur les substances qui les composent, de sorte que leur mode de formation ne présente aucune incertitude.

La 5e colonne du tableau se rapporte à la formation des granites dans laquelle se sont manifestées des actions chimiques ou physiques d'un ordre différent. Dans le cours dont je présente ici la rapide analyse, après avoir étudié les roches volcaniques, j'y avais rattaché successivement d'autres roches dont l'origine est plus ou moins analogue, telles que les basaltes, les différentes espèces de

trapps, de trachytes, de porphyres, et j'étais arrivé au granite dont l'origine m'avait paru présenter un problème plus difficile que les autres roches éruptives. Bien que l'action de la chaleur ait prédominé, l'eau paraîtrait y avoir joué un rôle considérable, de manière que la formation des granites tient très probablement, d'une part, par les silicates qui entrent dans leur composition, à celle des laves, et de l'autre, par la silice libre qui y abonde, à la formation des dépôts de silice qui constituent les filons quartzeux.

J'avais aussi étudié, dans ce cours, les phénomènes éruptifs sous le point de vue des émanations qui les accompagnent et qui les suivent. J'avais formé d'abord la liste des substances qui émanent des volcans dans leurs éruptions. Puis j'avais considéré les différentes émanations qui traversent l'écorce du globe et qui se rattachent probablement aux phénomènes volcaniques ou aux autres phénomènes éruptifs, telles que les différentes eaux minérales et les substances qu'elles renferment, car les sources minérales sont et ont été probablement, dans tous les temps, le dernier signe d'activité que donnent, avant de s'éteindre complétement, les foyers éruptifs. J'avais examiné ensuite toutes les masses minérales qui paraissent devoir être attribuées à des phénomènes plus ou moins analogues aux dépôts produits par les eaux minérales, tels que les filons d'incrustation, et j'étais enfin arrivé à l'étude des matières qui ont été amenées par les masses granitiques au moment de leur éruption. Les colonnes 9, 8, 7 et 6 du tableau sont consacrées à cette série de produits.

Les matières qui se trouvent aujourd'hui dans les productions volcaniques forment deux classes bien distinctes : les unes, *volcaniques à la manière des laves*, sont composées de silicates qui apparaissent à l'état de fusion, tandis que d'autres, *volcaniques à la manière du soufre*, sont généralement entraînées à l'état moléculaire. Tels sont le soufre, les chlorures, les hydrochlorates et les autres substances que les laves laissent dégager. A mesure qu'on suit ces phénomènes de proche en proche, en se rapprochant des éruptions granitiques, on voit les deux séries devenir de moins en moins distinctes. Les matières de ces deux classes résultant des éruptions anciennes, sont beaucoup moins séparées que dans les phénomènes actuels ; le quartz, qui occupe entre les deux classes de produits la place la plus ambiguë, y est plus abondant, et on trouve là une famille de corps simples dont un petit nombre seulement joue un rôle dans la nature actuelle après avoir joué un rôle très habituel dans les phénomènes au milieu desquels le granite a cristallisé.

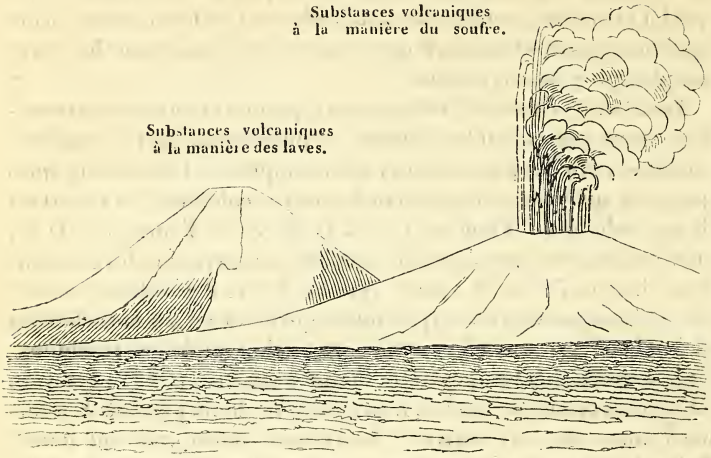
Leur présence nous a fait conjecturer qu'une action chimique

particulière a présidé à la cristallisation du granite, et que cette action était en rapport avec les propriétés des corps simples dont nous venons de parler. Tout semble indiquer que le granite, lorsqu'il a cristallisé, renfermait non seulement de l'eau, mais encore quelques agents chimiques qui avaient de l'action sur les corps simples qui y sont répandus.

Les 5e et 6e colonnes, relatives aux granites et aux filons stannifères, nous présentent les résultats de phénomènes qui, considérés en masse, ont été plus anciens, plus complexes et plus énergiques que ceux auxquels se rapportent les autres colonnes. En s'écartant de ces colonnes, d'une part vers la 2e, et de l'autre vers la 9e, on voit diminuer par degrés le nombre des corps simples contenus dans chacune, d'où il résulte que les foyers des volcans actuels sont les plus pauvres en corps simples qui aient agi sur la surface du globe. Quelle que soit la nature des roches qu'ils ont produites, les foyers éruptifs ont peut-être donné tous, vers la fin, à peu près les mêmes produits, mais il n'en a pas été de même dans le commencement de leur activité. Les foyers granitiques ont donné d'abord des produits plus composés et plus énergiques que les autres. On pourrait comparer les émanations de ces foyers divers à des rivières qui se terminent toutes à la mer d'une manière assez analogue; mais qui près de leur source sont plus ou moins rapides, plus ou moins torrentielles, plus ou moins chargées de corps étrangers, suivant qu'elles prennent naissance dans des montagnes plus ou moins escarpées. Les émanations des granites ont donné une série de produits plus longue et plus variée, de même que les torrents des hautes montagnes qui, entraînant d'abord des blocs et des cailloux, finissent par ne plus charrier que du sable et de la vase, comme les rivières des plaines.

On pourrait essayer de représenter la gradation suivie par la nature dans cet appauvrissement progressif, et la marche même de mon cours de l'année 1846-1847, par une figure symbolique, en dessinant une double pyramide dont les deux sommets représenteraient, l'un les produits pierreux et l'autre les émanations gazeuses des volcans actuels, et dont la base unique représenterait le bain de matières fondues sur la surface duquel les premiers granites ont cristallisé, espèce de *chaos primitif* dans lequel tous les corps simples existaient simultanément.

Simplification progressive des phénomènes éruptifs.



Chaos primitif.

En étudiant l'ensemble des faits que cette figure représente symboliquement, on est conduit à former une chaîne continue de roches de plus en plus siliceuses et portant l'empreinte d'actions chimiques de plus en plus complexes, depuis les laves des volcans actuels jusqu'aux granites, et une autre depuis les phénomènes volcaniques actuels considérés sous le rapport des émanations auxquelles ils donnent naissance, jusqu'aux traces d'émanations plus ou moins analogues dont les granites sont accompagnés. En suivant les divers anneaux de cette dernière chaîne, on voit apparaître successivement presque tous les corps simples qui ne sont pas compris dans les émanations volcaniques actuelles; on voit apparaître, pour ainsi dire, toute la chimie et toute la minéralogie, et on est ramené à l'une des questions les plus importantes de la géologie, celle de l'origine du granite. On est également ramené à cette question difficile, soit qu'on descende jusqu'à la base de la pyramide qui représente les produits fondus des foyers d'éruption, soit qu'on descende jusqu'à la base de celle qui représente les émanations.

A l'origine des phénomènes éruptifs, lors de la production des premiers granites, les deux classes de produits étaient beaucoup moins distinctes par leur composition qu'elles ne le sont devenues depuis, et les premiers foyers éruptifs paraissent avoir rejeté si-

multanément et par les deux modes d'éruption à peu près confondus les 4/5 au moins des corps simples connus, tous réunis à l'origine dans une espèce de *mélange universel*.

Il est assez naturel, en effet, de supposer qu'à l'origine des choses les corps simples étaient mélangés beaucoup plus indistinctement qu'ils ne le sont aujourd'hui ; car l'ordre dans lequel nous les rencontrons actuellement est le résultat d'une longue série de phénomènes qu'ils ont tous traversés en obéissant aux lois physiques et chimiques, suivant la nature de leurs propriétés, qui, étant diverses, tendaient d'elles-mêmes à les séparer. C'est ainsi qu'au milieu de toutes ses autres opérations et des secousses violentes qu'elles ont occasionnées, la nature a procédé à un triage progressif des corps simples.

Un grand nombre d'entre eux dont les réactions, dans l'état actuel des choses, seraient très faibles pour les uns, très énergiques et très délétères pour les autres, ont été fixés de bonne heure en presque totalité, et il n'est presque resté en circulation que des corps d'une énergie modérée et très sensibles à l'action qu'ils exercent les uns sur les autres dans les circonstances actuelles.

Tel est, en particulier, le caractère des 19 corps simples qui figurent dans les émanations volcaniques, à l'exception seulement du potassium et du sodium, dont l'affinité pour l'oxygène est très énergique, mais qui n'apparaissent dans les volcans qu'à l'état d'oxydes.

On peut en dire autant de la plupart des corps simples qui apparaissent aujourd'hui dans les eaux minérales. Un corps très énergique, le fluor, s'y présente quelquefois et seulement en très petite quantité ; mais il s'y trouve toujours engagé dans des combinaisons à peu près neutres.

Ce triage graduel est un grand phénomène qui a marché pendant toute la durée de la formation de l'écorce terrestre, mais dont les effets ont varié à mesure que l'écorce terrestre s'est épaissie. La chose est écrite bien clairement dans le tableau placé à la fin de cette note, dont les colonnes, comparées entre elles, font voir qu'un grand nombre de corps simples se sont concentrés dans les parties de l'enveloppe terrestre sur lesquelles ont dû porter les premières atteintes du refroidissement ; qu'ils ont dès lors été retirés, pour ainsi dire, de la circulation, et qu'ils ne se trouvent plus qu'accidentellement dans les masses immobilisées postérieurement. Quelques parties de ces masses, coagulées dès le commencement du refroidissement, mais non complétement solidifiées, ont fait éruption à travers les dépôts sédimentaires qui

s'étaient formés les premiers par la désagrégation des matières refroidies à la surface. C'est dans ces jets de matières pâteuses que s'est surtout concentrée une grande partie des substances qui tendaient à sortir de la circulation. Les gîtes formés de cette manière, les *gîtes stannifères*, sont ceux dont la richesse est le plus variée.

La richesse en corps simples est donc à son maximum dans les roches cristallines les plus anciennes, dont la coagulation s'est opérée à la surface des grandes masses de matières fondues qui ont formé la première enveloppe du globe et dans leurs émanations les plus immédiates.

Le second ordre de richesse se trouve dans les filons qui ont été formés par les émanations de masses moins siliceuses dont le point de départ est situé plus profondément dans l'intérieur du globe terrestre.

Le troisième degré se rencontre dans les eaux minérales, qui sont une continuation de ces divers phénomènes d'émanation.

Le quatrième degré s'observe dans les émanations des volcans, qui sont un peu plus pauvres que les eaux minérales, et qui ont du reste une grande ressemblance avec elles.

Ces phénomènes forment une série graduée : il y a eu de premiers phénomènes très anciens, pendant lesquels la nature terrestre était plus riche en corps simples que pendant les dernières actions qui se sont passées sur la surface du globe. Ces premiers phénomènes ont eu pour effet de concentrer dans quelques roches très anciennes une partie considérable des corps simples connus. La plus grande partie de ces corps simples, doués d'affinités chimiques énergiques, ayant trouvé à se fixer, n'ont plus reparu aux époques modernes de l'histoire du globe, que très rarement, tandis qu'aux époques anciennes leur action était générale. Les phénomènes dans lesquels ils intervenaient étaient certainement plus nombreux et plus puissants aux époques anciennes que dans les temps modernes et à l'époque actuelle, où on ne voit généralement agir, avec la chaleur, que les agents chimiques les plus inoffensifs pour les êtres organisés, ceux dont l'action se développe complétement dans les circonstances physiques qui existent actuellement sur la surface du globe, ceux précisément que nous employons le plus habituellement dans nos laboratoires, en opérant par la voie humide, tels que le chlore, le soufre, etc., qui font partie des émanations les plus ordinaires des volcans.

En somme, le *silicium* et le *potassium*, et une série nombreuse de corps simples, se trouvent plus abondamment dans la première

enveloppe consistante du globe et dans ses émanations directes que dans le reste de l'écorce terrestre. Quelques uns y sont même à peu près uniquement concentrés. Ces corps-là ayant été retirés plus ou mois complétement de la circulation dès la formation de la première enveloppe de notre globe, immobilisée par le commencement de son refroidissement, il doit avoir existé une cause très générale qui ait fait qu'en même temps le *silicium* et le *potassium* se soient portés principalement à la surface extérieure de la masse terrestre, et que cette foule de corps simples, dont la présence est l'attribut spécial des granites et des gîtes stannifères, s'y soient réunis à eux. Cette distribution des corps simples paraît en effet s'expliquer assez naturellement par les suppositions les plus plausibles qu'on puisse faire sur la manière dont les phénomènes chimiques se sont succédé à la surface du globe.

Une des hypothèses les plus ingénieuses qu'on ait proposées sur l'origine de l'écorce terrestre et d'une partie de la chaleur que notre globe renferme dans son intérieur, consiste à supposer qu'il y a eu un moment où les différents corps simples qui entrent dans la composition des roches n'étaient pas encore combinés avec l'oxygène. L'oxydation, on peut le concevoir, ne s'est pas faite d'une manière uniforme sur tous ces corps, mais certains corps se sont oxydés de préférence aux autres. Parmi les corps qui se sont oxydés de préférence, on doit placer ceuxqui font partie des roches granitiques et des gîtes stannifères. Ce sont, en effet, des corps qui ont dû absorber l'oxygène avec beaucoup d'avidité, et on pourrait admettre que le *silicium* et le *potassium* se soient oxydés plus rapidement que la plupart des autres corps simples, et que c'est précisément pour cela qu'ils se trouvent en plus grande proportion dans les parties supérieures de l'écorce terrestre que dans les parties inférieures. Cette supposition s'adapterait assez bien aussi aux propriétés des métaux, tels que le *lithium*, l'*yttrium*, le *glucinium*, le *zirconium*, le *thorium*, le *cerium*, le *lanthane*, le *didymium*, l'*urane*, l'*étain*, le *tantale*, le *niobium*, le *pelopium*, le *tungstène*, le *molybdène*, qui se sont concentrés principalement dans la première enveloppe du globe. Tous ces corps simples sont très avides d'oxygène et ne l'abandonnent que très difficilement. Au contraire, certains corps ont résisté à l'oxydation : ce sont ceux que nous connaissons presque uniquement à l'état natif, et que nous voyons seulement apparaître lorsque les phénomènes éruptifs les amènent à la surface : tels sont le *palladium*, le *rhodium*, le *ruthenium*, l'*iridium*, le *platine*, l'*osmium*. Tous ces corps-là sont restés dans la profondeur d'où ils n'ont été amenés à la surface que dans quelques cas ex-

ceptionnels par des phénomènes éruptifs comparativement modernes. Leur grande pesanteur spécifique a sans doute contribué à les retenir dans les entrailles de la terre; mais peut-être aussi ont-ils été entraînés loin de la surface par suite de leur moins grande tendance à se combiner avec l'oxygène.

Il serait peut-être assez difficile d'énumérer toutes les causes qui ont pu concourir à opérer ce partage. Il a fallu sans doute qu'il se passât là un phénomène tout spécial, qu'il serait très intéressant d'éclaircir, pour que les deux classes de corps pussent se séparer d'une manière si complète et si exacte, et se porter les uns dans les parties supérieures, les autres dans les parties inférieures de l'écorce terrestre; mais il pourrait sembler hasardé de supposer que la tendance prépondérante de certains corps à se combiner avec l'oxygène ait suffi à elle seule pour les extraire presque complétement d'une masse épaisse de plusieurs milliers de mètres. Ce serait peut-être en effet attribuer à cette *coupellation naturelle* des effets d'une énergie supérieure à celle qu'on peut raisonnablement lui reconnaître; peut-être cependant pourrait-on remarquer que la tendance qui existait, en vertu de la seule différence d'oxydabilité, à ce qu'un pareil départ se produisît, était secondée par une autre cause, à la puissance de laquelle il est beaucoup plus difficile d'assigner une limite. Le globe terrestre, livré à une combustion qui s'opérait à sa surface dans toute son étendue, devait être *un appareil électro-chimique d'une puissance immense*, dont l'action était précisément de nature à amener à la surface les métaux les plus avides d'oxygène. Considérée ainsi, avec tout le cortége d'effets physiques qui a dû l'accompagner, l'oxydabilité prépondérante ou, plus généralement encore, la nature chimique des corps simples qui sont particulièrement concentrés dans la première enveloppe oxydée du globe, peut offrir une explication plausible de leur réunion.

Cette explication me semble d'autant plus admissible, que des phénomènes électriques paraissent avoir encore beaucoup contribué à la nouvelle concentration qui a aggloméré une partie de ces métaux dans la plupart des gisements que j'ai signalés.

Je reviendrai bientôt sur cette intervention probable de l'action électrique, mais je ferai d'abord observer que le jeu des courants gazeux qui ont dû se dégager à travers l'écorce terrestre, a pu concourir aussi très puissamment à accumuler les métaux propres aux granites dans les positions où on les observe.

Nous avons remarqué que les minéraux qui contiennent cette multitude de corps simples ne sont pas disséminés arbitrairement

dans toute l'étendue des masses granitiques; ils sont agglomérés dans certaines parties et surtout vers la surface des masses : c'est la position dans laquelle s'y présentent ordinairement les minerais d'étain. Ils sont ainsi concentrés non seulement dans la première enveloppe coagulée à la surface du globe terrestre, mais encore dans l'écorce de cette enveloppe et dans les ramifications et les émanations que cette espèce de *liber* ou de *derme terrestre* a introduites dans les masses à travers lesquelles elle a été poussée et avec lesquelles elle s'est trouvée en contact.

Pour se rendre un compte exact de la position doublement concentrée qu'occupent les métaux de la famille de l'étain, du tantale, etc., non seulement dans les masses granitiques en général, mais dans certaines parties de ces masses, il faut ne pas se borner à considérer les points où on les trouve disséminés près des lignes de contact, visibles à l'extérieur, des masses granitiques anciennes et des roches adjacentes. Il faut remarquer que ces lignes ne sont que l'intersection, par la surface du globe, de surfaces de contact très étendues qui sont cachées dans son intérieur. Pour se les bien représenter, on peut imaginer que toutes les masses granitiques aient été dépouillées des assises qui les recouvrent. Si le granite était ainsi réduit à laisser voir complétement à nu sa surface de contact avec les roches qui lui sont superposées, cette surface se montrerait presque partout enrichie des métaux que le granite est sujet à contenir, mais ces métaux se trouveraient surtout concentrés à la surface des saillies qu'il présenterait. Le granite, dépouillé, comme je viens de l'imaginer, de toutes les masses qui le cachent en partie, présenterait un certain nombre de protubérances très saillantes qui s'élèveraient au-dessus des autres accidents de sa surface, comme des espèces de *cheminées* ou même de *paratonnerres*. Ces colonnes ou pointes saillantes seraient les parties les plus riches en métaux, et la cause de la concentration de ceux-ci peut justifier peut-être, jusqu'à un certain point, la double comparaison que je viens de faire.

En effet, ces colonnes irrégulières, toujours plus ou moins fendillées, ainsi que les roches qui les avoisinent, ont formé des *cheminées* naturelles pour le dégagement des vapeurs qui ont pu sortir des granites. Une cause particulière a dû souvent rendre très actif le dégagement des vapeurs à travers toutes les protubérances de la première écorce granitique du globe terrestre. Les vapeurs renfermées dans les masses granitiques en fusion (non seulement en vertu de leur action coercitive ordinaire, mais comme l'acide carbonique dans une eau gazeuse comprimée) ont d'abord été sou-

mises à une pression énorme exercée par la quantité immense de vapeur due à l'eau de la mer vaporisée. Après que la mer se fut liquéfiée, son poids comprima encore les vapeurs contenues dans les masses granitiques placées en dessous de son bassin ; mais les filons ou colonnes granitiques qui vinrent à pointer dans des continents ou des îles jusqu'à un niveau supérieur à celui des eaux, furent déchargés de cette énorme pression et fournirent aux vapeurs une issue facile par laquelle celles-ci durent s'échapper en abondance, ce qui favorisa singulièrement l'*accumulation dans les pointes* des métaux entraînés par ces vapeurs.

On peut remarquer aussi que la surface de contact entre le granite et les roches superposées, a marqué pendant longtemps la hauteur, dans l'épaisseur de l'écorce terrestre, où la température a varié le plus rapidement, d'un point à l'autre, et celle par conséquent où les *courants électriques* dus aux inégalités de température ont dû se développer avec le plus d'intensité. Or, si l'électricité développée de cette manière a influé sur la répartition des métaux dans l'épaisseur de l'écorce terrestre, il est naturel qu'elle les ait transportés de préférence vers la surface de contact dont je viens de parler, et qu'elle les ait concentrés particulièrement dans les *pointes* que cette surface présentait.

Le dégagement de la vapeur par ces mêmes pointes ou cheminées, a dû concourir à y produire des mouvements électriques; car on sait que l'écoulement de la vapeur contenue dans une chaudière donne lieu à un développement considérable d'électricité, dont M. Faraday a montré à se servir pour charger des batteries qui ont la puissance de la foudre.

J'ai déjà cité différents faits qui me portent directement à croire que l'électricité a joué en effet un rôle important dans la formation d'un grand nombre de dépôts métallifères. J'ajouterai encore qu'il me paraît extrêmement remarquable de voir que le platine, le palladium, le cuivre, l'or et l'argent natifs, ont généralement des pesanteurs spécifiques beaucoup moindres que les mêmes métaux fondus dans nos fourneaux. Ce fait cadre d'une manière remarquable avec l'état ramuleux et réticulé dans lequel se présentent souvent plusieurs de ces métaux, notamment le cuivre, l'or, l'argent. Il me paraît, d'après cela, très probable que ces métaux n'étaient pas en fusion lorsqu'ils ont cristallisé, mais qu'ils se réduisaient simplement en grenailles analogues à celles que forme le fer en se réduisant, sans se fondre, dans les foyers catalans et dans les fours à pudler, et à ce qu'on appelle l'éponge de platine. On pourrait admettre aussi qu'ils ont été réduits et agrégés par des phénomènes analogues

à la galvanoplastie et à la formation du cuivre de cémentation. On sait, par les expériences de M. Fox et par celle de M. Reich, que la plupart des filons métalliques se trouvent habituellement dans un état électrique particulier. Cet état électrique habituel offre un des moyens les plus naturels d'appliquer les phénomènes d'épigénie, de transports moléculaires, etc., qui paraissent s'être produits dans les filons longtemps après leur formation. Au moment de leur formation, l'état électrique a dû y être plus prononcé encore. J'ai d'ailleurs insisté longuement sur le rôle prépondérant que les émanations, sous la forme de vapeurs ou d'eaux minérales, paraissent y avoir joué.

Les idées qui viennent d'être énoncées ramènent donc simplement à penser que, sous le rapport de l'action des vapeurs et de celle de l'électricité, la formation des gîtes stannifères a eu de nombreux traits de ressemblance avec celle des autres gîtes métallifères.

Ainsi, des vapeurs qui auraient entraîné les métaux des granites à l'état moléculaire ou comme une sorte d'*écume*, des courants électriques qui les auraient extraits des vastes masses au sein desquelles, bien que retirés de la circulation générale, ils étaient encore répandus d'une manière plus ou moins uniforme et en proportions presque imperceptibles, ont pu concourir à les accumuler dans des parties de l'écorce terrestre voisines de la surface, comme s'ils avaient eu pour mission de les mettre à la portée de l'homme qui devait les exploiter un jour. Cette accumulation dans des points élevés, quand même elle devrait s'expliquer par d'autres causes que celles que je viens d'indiquer, cadrerait toujours d'une manière très remarquable avec les faits que j'ai cités ci-dessus, p. 1296 (1), pour faire sentir combien est illusoire la supposition qui cherche à expliquer la nature et la cristallinité

---

(1) Aux faits que j'ai cités pour montrer que la distribution des métaux dans les gîtes métallifères a été généralement influencée par le voisinage de la surface extérieure de la terre, j'ajouterai encore la remarque suivante : les terrains de transport aurifères, si généralement répandus sur la surface du globe, proviennent probablement de la destruction de la partie la plus élevée de gîtes qui, comme ceux de Bérésowsk, en Sibérie, étaient surtout aurifères près de la surface. Cette partie superficielle des gîtes (*golden hut*) a été démolie la première, et de là vient qu'on réussit si rarement à se rendre compte de l'origine de l'or qui se trouve dans les terrains de transport.

du granite, en l'attribuant à des *éruptions intérieures* qui se seraient opérées, à des profondeurs immenses, dans l'épaisseur de l'écorce terrestre.

Ces diverses considérations permettent de concevoir, si je ne me trompe, que la concentration du *silicium*, du *potassium* et d'une classe nombreuse de métaux dans les granites, et l'accumulation des derniers dans certaines parties de ces roches, ne présentent pas un problème insoluble; mais quelle que soit l'explication définitive qu'on pourra donner de leur réunion, il est certain qu'elle existe et qu'elle remonte nécessairement à des phénomènes extrêmement anciens qui ont dû être différents des phénomènes qui se passent aujourd'hui sur la surface du globe; que lors de la coagulation de la première enveloppe du globe terrestre, il doit avoir existé une cause quelconque pour qu'un grand nombre de corps fussent retirés de la circulation; qu'il y a eu une énorme différence entre les phénomènes propres à l'époque où le granite s'est formé et ce qui s'est passé plus tard, lors de la formation des autres roches cristallines; d'où il résulte que les phénomènes qui se sont accomplis sur la surface du globe ont suivi une *certaine gradation*.

Quelle qu'ait été la nature des premiers phénomènes géologiques, une grande partie des corps simples ont été alors séquestrés de manière à ne plus reparaître ailleurs, et ce fait seul indique un changement graduel dans la marche des phénomènes géologiques. On voit combien cela est contraire à certains systèmes dans lesquels on suppose que tout s'est constamment passé de la même manière sur la surface de la terre, et que l'origine du globe se perdrait dans la nuit d'une période indéfinie, pendant laquelle les phénomènes géologiques auraient tourné perpétuellement dans le même cercle. Si tout s'était toujours passé de la même manière, sans aucun changement essentiel, on trouverait dans tous les gisements de minéraux la même série de corps simples, et non pas une série plus nombreuse dans les gîtes formés les premiers que dans ceux formés les derniers.

La série des phénoménes dont le globe terrestre porte les traces a donc eu *un commencement* que la science nous permet d'entrevoir. Le globe, semblable en cela aux êtres organisés, a eu sa jeunesse et il a sensiblement vieilli. Si, dans les intervalles des grandes commotions dynamiques qui produisent les chaînes de montagnes et qui tuent alors des myriades d'êtres organisés sans détruire complétement toutes les espèces, il conserve encore les mêmes organes de mouvement et de changement qu'à son origine, ces organes

ne conservent plus la même vivacité d'action, ne sont plus alimentés par des substances aussi énergiques.

Il est évident que les plus intenses de ces phénomènes chimiques dont la nature minérale est le produit, ont dû avoir lieu, pour la plupart, antérieurement à l'existence des êtres organisés ; et cela seul démontre que le globe terrestre a passé par une série de phénomènes divers et successifs, qu'il y a eu un développement de la nature inorganique. C'est au milieu de ce développement de la nature inorganique qu'a eu lieu le développement de la nature organique, tel qu'il nous est indiqué par l'apparition successive des différentes classes des êtres organisés.

Cette marche graduée, suivant une progression décroissante, des phénomènes chimiques, est une des merveilles de la nature, une des parties les plus remarquables de l'ordre général de l'univers. Le globe terrestre était destiné aux êtres organisés qui ont peuplé sa surface, et l'ordonnance générale des phénomènes inorganiques dont il a été successivement le théâtre, était étroitement liée au plan général de la nature organique. Les substances des éruptions et des émanations ont été, avec le temps, restreintes presque uniquement aux corps simples, qui devaient être constamment restitués à la surface du globe, pour qu'aucune de ses parties ne manquât des matières dont les êtres organisés devaient se composer, et les corps simples, qui, par leur nature, auraient pu exercer une action délétère sur les êtres organisés, ou qui devaient rester étrangers à leur composition, ont été retirés, en grande partie, de la circulation dès les premiers âges du monde.

L'affaiblissement graduel des agents chimiques qui ont agi à la surface du globe, comparé à l'ordre suivant lequel y ont apparu les différentes classes d'êtres organisés, laisse apercevoir dans l'histoire de la nature un plan aussi harmonieux que celui qu'on admire dans la constitution de chaque être en particulier. Les organisations les plus complexes et les plus frêles ont paru seulement après que les principes qui auraient pu leur nuire ont été presque complétement fixés ou réduits à des proportions inoffensives. L'homme, dont le développement physique et intellectuel exige des ménagements plus délicats encore que celui de tous les êtres qu'il domine et dont il couronne la série, a paru le dernier, lorsque l'action habituelle des foyers intérieurs du globe sur sa surface était réduite à son minimum d'énergie, lorsque la terre était devenue propre à le recevoir par la fixation presque complète de tous les principes délétères, ou du moins par la réduction

de leur émission aux quantités minimes, qui, dans les eaux minérales, servent au soulagement de ses infirmités et à la prolongation de son existence.

Toutes les branches des connaissances humaines sont liées entre elles, et la géologie, sœur cadette des autres sciences, a avec ses aînées des relations plus multipliées encore qu'elles n'en ont entre elles : on en trouve une nouvelle preuve dans les conséquences variées auxquelles conduit le *tableau de la distribution des corps simples dans la nature*, qui a formé la base de cette note et que je place ici en la terminant.

Tableau de la distribution des corps simples dans la nature.

	1 Corps les plus répandus sur la surface du globe.	2 Roches volcaniques actuelles.	3 Roches volcaniques anciennes.	4 Roches basiques.	5 Granites.	6 Filons stannifères.	7 Filons ordinaires et géodes	8 Sources minérales.	9 Émanations volcaniques.	10 Radicaux natifs.	11 Aérolithes.	12 Corps organisés.
1 Potassium	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
2 Sodium	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
3 Lithium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	. . .	*				
4 Barium	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*				
5 Strontium	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*				
6 Calcium	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
7 Magnesium	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	. . .	*	*
8 Yttrium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
9 Glucinium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*					
10 Aluminium	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
11 Zirconium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
12 Thorium	. . .	. . .	. . .	. . .	*							
13 Cerium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
14 Lanthane	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
15 Didymium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
16 Urane	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*					
17 Manganèse	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
18 Fer	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
19 Nickel	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	. . .	. . .	. . .	*	
20 Cobalt	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	. . .	*	. . .	*	
21 Zinc	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*					
22 Cadmium	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*					
23 Etain	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*					
24 Plomb	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	. . .	*	*	*	
25 Bismuth	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	. . .	. . .	*		
26 Cuivre	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	* ?	*	*	*	
27 Mercure	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	. . .	. . .	*		
28 Argent	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	. . .	. . .	*		
29 Palladium	. . .	. . .	. . .	*	* ?	*	*	. . .	. . .	*		
30 Rhodium	. . .	. . .	. . .	*	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*		
31 Ruthenium	. . .	. . .	. . .	*	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*		
32 Iridium	. . .	. . .	. . .	*	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*		
33 Platine	. . .	. . .	. . .	*	. . .	. . .	*	. . .	. . .	*		
34 Osmium	. . .	. . .	. . .	*	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*		
35 Or	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	. . .	. . .	*		
36 Hydrogène	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
37 Silicium	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
38 Carbone	*	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	*	*	*	*
39 Bore	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	*			
40 Titane	. . .	*	*	*	*	*	*					
41 Tantale	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
42 Nobium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
43 Pelopium	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
44 Tungstène	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*						
45 Molybdène	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*					
46 Vanadium	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*					
47 Chrome	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	. . .	. . .	. . .	*	
48 Tellure	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	. . .	. . .	*		
49 Antimoine	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	. . .	. . .	*		
50 Arsenic	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	*	*	*		
51 Phosphore	*	. . .	*	*	*	*	*	*	. . .	. . .	*	*
52 Azote	*	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	*	*	*
53 Sélénium	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*	. . .	*	*	*	
54 Soufre	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
55 Oxygène	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
56 Iode	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*				
57 Brome	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	*	*				
58 Chlore	*	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	*	*
59 Fluor	*	*	*	*	*	*	*	*	. . .	. . .	. . .	*
	16	14	15	30	42	48	43	24	19	29	21	16

M. Élie de Beaumont, en présentant à la Société le tableau qui précède, donne encore quelques explications verbales sur sa construction et sur les conclusions auxquelles il le conduit relativement aux émanations volcaniques et métallifères.

Le même membre lit ensuite une autre note relative à la fusion des glaciers par les vapeurs.

Note relative à l'une des causes présumables des phénomènes erratiques; réponse à quelques observations de M. le professeur Al. Mousson et de M. de Charpentier, par M. Élie de Beaumont.

Les feuilles du *Bulletin* qui se rapportent à la séance du 7 décembre 1846 et qui ont paru depuis plusieurs semaines, contiennent (p. 269 du présent volume) une lettre de M. le professeur Albert Mousson et un Mémoire de M. de Charpentier, dont l'objet est de combattre le Mémoire de M. de Collegno *Sur les terrains diluviens des Pyrénées* (1), et de poursuivre dans ce Mémoire l'application, faite par l'auteur aux Pyrénées, de l'hypothèse par laquelle je cherche, dans un *grand dégel géologique*, l'une des causes des phénomènes erratiques.

Je crois nécessaire d'ajouter, à cette occasion, quelques développements à la très courte note que j'ai présentée à la Société dans la séance du 19 mai 1845, et qui a été insérée dans le *Bulletin* (2).

M. de Charpentier discute, au commencement et à la fin de son Mémoire, le rapprochement que j'ai indiqué dans la note ci-dessus mentionnée, entre le phénomène erratique expliqué suivant mon hypothèse et la fusion des neiges du Cotopaxi opérée subitement dans les éruptions de 1742, 1743 et 1744. Par conséquent, mon savant antagoniste aurait pu ne pas oublier qu'en attribuant la fusion des neiges, dont les Alpes et les Pyrénées auraient été couvertes, à des gaz de la nature de ceux auxquels on attribue l'origine des dolomies et des gypses, j'entends parler de gaz comparables à ceux qui se dégagent dans les éruptions volcaniques et auxquels sont dues les averses désastreuses qui dévastent souvent les flancs et les environs des volcans, c'est-à-dire de

(1) *Annales des sciences géologiques*, publiées par M. Rivière. 1843.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, 2e série, t. II, p. 406.

courants gazeux composés en très grande partie de vapeur d'eau.

Or, le calcul ingénieux et sans doute très exact en lui-même de M. le professeur Mousson, qui sert de base à tous ceux de M. de Charpentier, se rapporte uniquement à des gaz permanents qui n'éprouveraient aucune liquéfaction et qui n'agiraient pas par leur chaleur latente. En cela il fait abstraction de la *cause principale du dégel erratique*, dans lequel, comme dans tout autre dégel, la *chaleur latente* nécessaire pour transformer la neige en eau, est provenue principalement de la *chaleur latente de la vapeur condensée*.

On répète chaque hiver à Paris ce dicton populaire, qui sans doute a son équivalent dans tous les pays où il neige et dans toutes les langues, *qu'un bon dégel n'est jamais chaud*. Ce dicton, traduit dans le langage de la physique, signifie que la constitution atmosphérique qui opère le plus rapidement le dégel ou la fusion de la glace et de la neige, est un *air saturé de vapeur d'eau*, qui produit toujours une sensation de froid plus marquée qu'un air sec à la même température (1). Cet air humide opère la fusion de la glace et de la neige, non par l'effet de sa température qui peut être moins élevée que celle de l'air sec échauffé par un beau soleil pendant une journée sereine, mais par la condensation de la vapeur d'eau (2) qui, en abandonnant sa chaleur latente, transforme en

---

(1) Cette propriété réfrigérante de l'air humide qui en rend l'action si sensible, se révèle par un autre dicton populaire, expression également très fidèle des sensations générales : on dit que *lorsqu'il neige le froid entre dans les maisons*. Les maisons, après la neige, ne sont pas plus froides qu'auparavant : les toits couverts de neige se refroidissent même moins que les toits découverts; mais l'air qui remplit les maisons est plus humide et produit, à température égale, une impression de froid plus vive. L'air sec est au contraire très mauvais conducteur de la chaleur; de là vient que les voyageurs qui ont éprouvé, dans l'air sec de la Sibérie, des froids de 30 à 40°, en ont trouvé la sensation beaucoup plus supportable qu'ils ne l'avaient présumé à l'avance. Les masques dont en se couvre le visage en Sibérie, sont plutôt une précaution contre le rayonnement de la neige que contre le contact de l'air.

(2) Il s'est établi depuis quelques années, dans l'Amérique septentrionale, une industrie qui offre une illustration bien remarquable des propriétés physiques de la glace, de l'eau et de la vapeur qui se trouvent mises en jeu dans le phénomène du dégel.

On embarque à la fin de chaque hiver, dans les ports de la Nouvelle-Écosse et de la Nouvelle-Angleterre, de nombreuses cargaisons de la glace magnifique que produisent les froids si rigoureux de ces contrées. Ces cargaisons sont conduites pendant l'été, non seulement à

eau un poids de glace ou de neige presque égal à huit fois le sien.

La vapeur est presque aussi propre à fondre la glace que l'eau à éteindre le feu ou pour mieux dire à refroidir les corps incan-

---

Londres, mais encore au cap de Bonne-Espérance, à Calcutta, à Batavia, et même à Hong-Kong.

Depuis que cette note a été lue à la Société géologique, j'ai trouvé l'article suivant dans le *Journal des Débats* du 23 octobre 1847 : « Le navire l'Ashburton, *chargé de glace*, est arrivé à Hong-» Kong (côtes de la Chine) le 31 août; il avait quitté Boston le » 9 mars. » J'ai lu plus récemment encore, dans le n° du 25 décembre 1847 du même journal, qu'à l'époque du 22 octobre 1847, « le gouverneur général des Indes néerlandaises venait d'accorder » à la maison Roselje frères et comp. de Batavia le monopole du » *commerce de la glace*, avec franchise de droits d'entrée, à la » condition, acceptée par MM. Roselje, d'avoir toujours en magasin » une quantité de glace suffisante pour les besoins de Batavia et de ses » environs. » Enfin le n° du 29 septembre 1848 annonce que M. Berne, négociant français à Batavia, « a passé avec le gouverneur général » de Java un contrat en vertu duquel il s'est obligé à établir un » dépôt de glace sur chacun des trois principaux ports de Java, sa-» voir : à Batavia, à Smarang et à Soërbaja. »

La glace de la Nouvelle-Angleterre, devenue ainsi dans l'Inde un objet habituel de commerce, vogue sur les mers de la zone torride plusieurs semaines, plusieurs mois après que les rivières où on l'a prise, les montagnes au pied desquelles elle s'est formée, ont été débarrassées de leurs glaces et de leurs neiges par les vapeurs du printemps, et, traversant deux fois la ligne équinoxiale, elle arrive à Batavia sans avoir subi un déchet considérable.

Pour la préserver de la fusion, que semblerait devoir provoquer si rapidement le soleil des tropiques, on se borne à entasser cette glace à fond de cale, sur des madriers disposés convenablement, en séparant les blocs de glace les uns des autres par de petits lits de sciure de bois; on a soin également de mettre obstacle à la circulation de l'air. La glace renfermée à fond de cale a promptement condensé, en presque totalité, la faible quantité de vapeur que pouvait contenir l'air qu'on y a renfermé avec elle, ce qui détermine la fusion d'un poids de glace égal à huit fois celui de la vapeur condensée, poids qui ne peut être considérable. Cette fusion opérée, la glace restante n'est plus entourée que d'air où sa température ne peut plus condenser de vapeur, et qui ne peut lui transmettre de chaleur que par son contact aux effets duquel se joignent ceux du rayonnement des parois de la cale. Cet air presque sec, la sciure de bois et la coque de bois du navire sont des corps assez mauvais conducteurs pour que la glace qu'ils séparent seuls des eaux des mers tropicales, dont la température est d'environ 27° 1/2, n'en reçoive qu'une très faible quantité de chaleur, et ne perde par la fusion qu'une partie minime de son poids.

Au contraire, la glace restée dans les rivières se trouvant en con-

descents. L'eau en contact avec un corps incandescent lui enlève sa chaleur qu'elle transforme en grande partie en calorique latent. La vapeur en contact avec la glace lui rend ce même calorique latent qui sert à la fondre, et qui ne fait que passer du rôle *calorique latent de vaporisation* à celui de *calorique latent de fusion*.

La quantité de neige que la vapeur saturée est capable de fondre, augmente dans une proportion très lente avec la température de cette vapeur. D'après le beau travail de M. Regnault sur la chaleur de la vapeur d'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau à 0° en vapeur saturée à 0°, est représentée par le nombre 606,5, c'est-à-dire égale à 606,5 fois la quantité

---

tact, dans les dégels du printemps, avec de la vapeur à une température même très peu élevée, mais sans cesse renouvelée, se résout en eau et s'écoule avec une extrême rapidité. Elle est constamment enveloppée par un air à peu près saturé d'humidité qui se renouvelle sans cesse et qui donne lieu à une condensation de vapeur continuelle, et par conséquent à la fusion d'un poids de glace égal à huit fois celui de la vapeur condensée. Le contact de l'air, la chaleur du soleil lorsqu'il brille, produisent aussi leur effet, mais cet effet est bien loin d'égaler celui qui résulte de la condensation de la vapeur.

C'est ainsi que la glace embarquée se trouve encore presque intacte lorsqu'elle arrive dans l'Inde ou en Chine vers la fin de l'été, après avoir traversé deux fois la zone torride, tandis que la glace de la Nouvelle-Angleterre a disparu depuis six mois.

La glace embarquée est soumise au mode de fusion dont M. Mousson a calculé la marche ; c'est pour cela qu'elle ne fond pas.

La glace restée en place est soumise à la cause que j'ai indiquée, à la chaleur produite par la condensation de la vapeur d'eau ; c'est pour cela que le dégel s'en opère rapidement.

L'air sec, même lorsqu'il est assez fortement échauffé, n'opère que très lentement la fusion de la neige. Il suffit, pour être bien pénétré de cette vérité, de s'être quelquefois promené sur les glaciers par un soleil de juillet ou d'août, accompagné d'un vent sec du N.-E. On voit en outre la preuve de cette vérité dans les *iourtes* où les Lapons, les Samoièdes et les Esquimaux passent l'hiver. L'air humide agit tout autrement, et ce n'est que dans un climat assez froid pour que l'air y soit presque sec, qu'on peut vivre et faire du feu dans des cavités creusées dans la neige.

La comparaison de ces différents faits aidera à concevoir comment les calculs de M. Mousson, quoique très exacts en eux-mêmes, sont inappliquables à la question qui nous occupe. Ces faits montrent clairement l'extrême différence qui existe, relativement à la fusion de la glace, entre l'action de la vapeur qui lui cède sa *chaleur latente*, et celle d'un gaz sec qui ne peut lui céder que sa *chaleur sensible*.

de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de la même quantité d'eau. D'après le tableau publié par mon savant confrère, la quantité de chaleur nécessaire pour transformer l'eau à 0° en vapeur à 100°, est représentée par 637°; pour la transformer en vapeur à 200°, par 667,5, etc.; et d'après la formule $x=606,5+0,305T$, déduite de l'ensemble des expériences (1), on trouve :

pour 300°.	698,0
pour 400.	728,5
pour 500.	759,0
pour 1000.	911,5

La chaleur latente de l'eau ou la quantité de chaleur nécessaire pour convertir la glace à 0°, en eau à 0°, étant exprimée, d'après M. Regnault, par le nombre 79,25, on n'aura qu'à diviser les nombres précédents par 79,25 pour connaître la quantité de glace ou de neige à 0°, qui devrait être employée pour convertir 1 kilogramme de vapeur saturée à 0°, à 100°, etc., en eau à 0°. On trouve ainsi pour la vapeur saturée :

à 0°.	$\frac{606,5}{79,25}$	= 7,65
à 100°.	$\frac{637,0}{79,25}$	= 8,04
à 200°.	$\frac{667,5}{79,25}$	= 8,42
à 300°.	$\frac{698,0}{79,25}$	= 8,81
à 400°.	$\frac{728,5}{79,25}$	= 9,19
à 500°.	$\frac{759,0}{79,25}$	= 9,58 (2)

(1) V. Regnault, *Mémoires de l'Académie des sciences*, t. XXI, p. 726.

(2) Ces nombres, qui résultent d'expériences multipliées, dans lesquelles M. Regnault a encore surpassé, s'il est possible, son exactitude si bien connue, ne s'écartent que faiblement de ceux qui, depuis longtemps, servent de règle à la pratique, dans toutes les industries qui emploient la vapeur. On admet dans l'industrie que la vapeur saturée, quelle que soit sa température, contient par kilogramme 650 unités de chaleur, c'est-à-dire une quantité de chaleur capable d'élever d'un degré la température de 650 kilogrammes d'eau. Dans

Mais au-dessus de 100°, la vapeur qui se dégagerait des fissures du sol ne pourrait plus être saturée ; il faudrait tenir compte de la chaleur qu'elle aurait absorbée en se dilatant, et en supposant que la chaleur spécifique de la vapeur d'eau soit représentée par le nombre 0,8470, que MM. Delaroche et Bérard avaient déterminé (mais qui, d'après les dernières recherches de M. Pouillet, paraîtrait à la vérité un peu trop faible), on trouve qu'elle pourrait fondre un poids de neige égal au sien multiplié

à 200° par.	9,10
à 300° par.	10,17
à 400° par.	11,24
à 500° par.	12,31

On voit par là que la vapeur d'eau est presque toujours susceptible de fondre et de réduire en eau à la température de 0° un

---

les machines à vapeur, on cherche à condenser cette vapeur sans que l'eau qui sort du condenseur dépasse la température de 35°. L'eau injectée étant à une température moyenne d'environ 15°, on a l'équation suivante pour déterminer la quantité x d'eau de condensation qui doit être employée pour chaque kilogramme d'eau vaporisée dans la chaudière.

$$650 - 35 = x(35 - 15) = x \,.\, 20$$

$$x = \frac{615}{20} = 30,75$$

Comme la vapeur avant d'être condensée perd toujours un peu de sa chaleur avant d'entrer dans le condenseur, celui-ci n'a pas besoin de recevoir une quantité d'eau absolument égale à celle indiquée par la formule, et la règle pratique est que le *poids de l'eau d'injection doit être égal à trente fois le poids de l'eau d'alimentation*. L'eau, dans les circonstances qui viennent d'être indiquées, sort en effet du condenseur à la température de 35°.

Maintenant, si on introduisait dans le condenseur de la neige à 0° au lieu d'eau, et si l'on voulait que l'eau sortît du condenseur à 0°, quelle devrait être la proportion de cette neige par rapport à celle de l'eau d'alimentation? En partant du résultat pratique, on peut déterminer le poids de neige y qui devrait correspondre à chaque kilogramme d'eau d'alimentatton ou de vapeur par l'équation :

$$30 \,.\, 20 + 1 \,.\, 35 = y \,.\, 79,25$$

$$y = \frac{635}{79,25} = 8,01$$

Ainsi, dans le cas que j'ai spécifié, le poids de la *neige de conden-*

poids de glace ou de neige égal à *huit fois le sien*, et qu'elle peu en fondre d'autant plus que la température est plus élevée; mais on peut observer en même temps que sa puissance de fusion n'augmente que lentement à mesure que sa température s'élève, et on conçoit immédiatement que si l'air saturé d'humidité à 20 ou 30° produit un dégel plus rapide que l'air saturé d'humidité à 5 ou 6° seulement au-dessus de 0°, c'est presque uniquement parce que, dans le premier cas, il contient, dans un volume donné, une quantité de vapeur d'eau beaucoup plus grande que dans le second.

Indépendamment de ce qu'il néglige la chaleur latente de la vapeur, M. de Charpentier fait encore abstraction de cette circonstance, que des gaz comparables à ceux auxquels est attribuée l'origine des dolomies et des gypses auraient fait subir à la substance de la neige elle-même un véritable *métamorphisme*, en y introduisant des matières acides et salines qui lui auraient donné la propriété d'être liquide au-dessous de 0° du thermomètre centigrade.

Tout le monde sait que c'est en mélangeant certains acides ou différents sels, et particulièrement du sel marin, à de la glace, qu'on produit les mélanges réfrigérants au moyen desquels on congèle même le mercure. Je rappelle ci-après, dans une note, la composition de plusieurs de ces mélanges, que je tire de la physique de M. Pouillet, et j'ajouterai que c'est la considération de cette propriété qui m'a porté dernièrement à suggérer à des glacialistes pleins de zèle et de talent l'idée de transporter et de répandre sur les glaciers des matières salines à bon marché, telles que les résidus devenus inutiles des teinturiers de Zurich et de Mulhouse. On pourrait peut-être ainsi fondre, à peu de frais, certaines parties habilement choisies des glaciers, et en mettre le fond à découvert; ce qui permettrait d'examiner d'une manière plus étendue et plus satisfaisante qu'on ne l'a fait jusqu'à présent, les surfaces polies et striées que ces glaciers sont censés recouvrir.

Ce n'est pas uniquement dans les laboratoires qu'on voit l'action

---

sation devrait être égal (en nombres ronds) à *huit fois le poids de l'eau d'alimentation*, ce qui revient à dire que la vapeur saturée est capable de convertir en eau à 0° un poids de neige à 0° *égal à huit fois le sien*.

Tel est le résultat de la *pratique industrielle* appliquée à la question qui nous occupe. Il rentre dans celui auquel nous sommes arrivés par une autre voie.

des sels sur la glace produire des abaissements remarquables de température. M. Martins a constaté que près des glaciers du Spitzberg (1), la couche inférieure des eaux de la mer se trouve, au-dessous de 70 mètres de profondeur, à une température moyenne de 1°,75 centigrade au-dessous de 0°. Ce fait paraît tenir à ce qu'un glacier à 0° en contact avec la mer, dont la température est supérieure à 0°, fond, en partie, par l'action de l'eau salée sur la glace, et donne de l'eau à une température inférieure à 0° et peut-être même à — 2°, constituant ainsi un appareil réfrigérant d'une grandeur gigantesque.

L'eau de mer, qui ne contient pas au-delà de 0,04316 de matières salines où domine le sel marin, se congèle, d'après M. Despretz, à la température de — 2°,55 et a son maximum de densité à — 3°,67. De l'eau qui contiendrait seulement un centième de son poids du même mélange salin, se congélerait probablement à — 0°,59, mais elle ne pourrait demeurer solide à 0°, et par conséquent elle ne pourrait subsister à l'état de neige sur un sol que le séjour de la neige ou de la glace aurait amené à la température de 0°, quand même l'air qui l'environnerait serait lui-même à 0°. Si donc toute la neige qui recouvre une montagne venait à se trouver mélangée d'*un centième* de son poids de sels analogues à ceux contenus dans l'eau de la mer, sa température s'abaisserait à — 0°,59, et il en fondrait une quantité correspondante à la quantité de chaleur dégagée par son abaissement de température, à celle que dégagerait l'action des sels sur la neige, et à celle qu'elle recevrait lentement du sol et de l'air extérieur, supposés l'un et l'autre à 0°.

La vapeur, ainsi que nous l'avons vu ci-dessus, peut, au moyen de sa chaleur latente, réduire à l'état liquide une quantité de glace ou de neige à peu près égale à *huit* fois son poids. Si à ce poids on ajoute celui de la vapeur elle-même, on voit que de la vapeur employée à fondre de la glace ou de la neige, doit produire un courant d'eau pure d'un poids égal à *neuf* fois le sien. Ce poids serait plus considérable encore si la vapeur était accompagnée de substances salines ou acides propres à produire des mélanges ré-

---

(1) *Mémoire sur la température de la mer Glaciale à la surface, à de grandes profondeurs et dans le voisinage des glaciers*, par M. Charles Martins. (*Comptes-rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XXVI, p. 333.) Et *Voyages en Scandinavie, en Laponie et au Spitzberg de la corvette* la Recherche. — *Géographie physique*, t. II, p. 333.

frigérants; car si, par l'effet d'un mélange de sels et d'acides, l'eau provenant de la fusion coulait à la température de — 1°, la quantité de chaleur employée à la fusion se trouverait encore augmentée de toute celle que la masse coulante aurait abandonnée en descendant de la température de 0° à celle de — 1°, sans parler du dégagement de chaleur que certains acides et certains sels auraient produit par leur action sur la glace ou sur l'eau (1). Il ne serait pas nécessaire que le mélange de sels et d'acides fût très considérable pour que le courant produit eût un poids égal à *dix* fois celui de la vapeur. Mais ce n'est pas tout encore, car s'il y avait de la

(1) Pouillet, *Éléments de physique expérimentale et de météorologie*, t. II, p. 551.

Si, en même temps qu'il y a fusion dans ces mélanges, il n'y avait pas d'action chimique dégageant de la chaleur, on comprend, dit M. Pouillet, qu'il suffirait de connaître les capacités des éléments et les quantités de chaleur latente pour calculer d'avance le degré de froid que l'on peut obtenir avec des éléments donnés; mais la question est trop complexe pour qu'il soit possible à présent d'en faire l'analyse; nous nous bornerons donc à rapporter les moyens pratiques de faire les mélanges réfrigérants les plus usuels.

Tableau des mélanges réfrigérants.

MÉLANGE DE NEIGE ET DE SEL, OU D'ACIDE ÉTENDU, OU D'ALCALI.		ABAISSMENT DU THERMOMÈTRE, AU-DESSOUS DE 0°.
Neige	1	de 0° à 17°,77
Sel marin	1	
Hydrochlorate de chaux	3	de 0° à 27°,77
Neige	2	
Potasse	4	de 0° à 28°,33
Neige	3	
Neige	1	de 6°,66 à 51°
Acide sulfurique étendu	1	
Neige ou glace pilée	2	de 17°,77 à 20°,55
Sel marin	1	
Neige et acide nitrique étendu		de 17°,77 à 43°,33
Hydrochlorate de chaux	2	de 17°,77 à 54°,44
Neige	1	
Neige ou glace pilée	1	de 20°,55 à 27°,77
Sel marin	3	
Hydrochlorate d'ammoniaque et nitrate de potasse	3	
Neige	2	de 23°,33 à 48°,88
Acide sulfurique étendu	1	
Acide nitrique étendu	1	
Neige ou glace pilée	12	de 27°,77 à 31°,66
Sel marin	5	
Nitrate d'ammoniaque	5	
Hydrochlorate de chaux	3	de 40° à 58°,33
Neige	1	
Acide sulfurique étendu	10	de 55°,55 à 68°,33
Neige	8	

glace ou de la neige en excès, le courant devrait en flotter ou en tenir en suspension, ainsi que nous le voyons si souvent en hiver dans les ruisseaux des rues de Paris, une certaine quantité dont la température serait abaissée au même degré que la sienne. On conçoit, d'après cela, qu'un courant de vapeur sorti des entrailles d'un terrain couvert de neige, a pu souvent donner naissance à un courant formé d'un poids d'eau, de neige et de glace égal à *douze* ou *quinze fois* le sien, sans parler des matières terreuses qui ont pu en outre s'y trouver mélangées.

La plupart des sels et des acides qui existent dans les émanations volcaniques ou dont on peut supposer l'existence dans les gaz auxquels est attribuée l'origine des dolomies et des gypses, sont susceptibles de produire, sur la glace et la neige, des effets analogues à ceux des sels contenus dans l'eau de la mer, ainsi qu'on peut en juger par le tableau reproduit dans la note ci-dessus.

Ces effets ont dû servir d'auxiliaires à la chaleur latente de la vapeur d'eau pour liquéfier les neiges à travers lesquelles ou près desquelles le courant gazeux, dont nous nous occupons, est supposé s'être dégagé. Ils auraient eu toute leur puissance à 0°. Les effets calorifiques de la condensation d'un poids déterminé de vapeur d'eau auraient eu eux-mêmes à 0° une grande partie de la puissance qu'ils auraient eue à 100°, et même à plusieurs centaines de degrés.

On voit par là que l'explication du phénomène erratique n'a pas besoin d'attribuer au courant gazeux qu'elle suppose s'être dégagé par les fissures du sol, une température supérieure à celle qui lui était nécessaire pour vaincre la pression atmosphérique. Elle ne gagnerait que peu de chose à ce que ce courant eût eu réellement une température très élevée. Il est même à remarquer que plus la température du courant serait élevée, plus serait grande la déperdition de chaleur qui s'opérerait par le contact du courant avec les parois de la fissure qui lui donnerait issue, puis avec l'air atmosphérique, et enfin par le rayonnement et par la diffusion de vapeur qui auraient lieu avant que l'eau résultant de la condensation de la vapeur fût descendue à la température de 0°. Cela me porte à présumer que si on entreprenait de fondre une masse déterminée de neige au moyen de la vapeur produite artificiellement dans une chaudière, on trouverait économie de combustible à opérer à une température peu élevée. L'hypothèse qui admet que le *dégel erratique* a été produit par des vapeurs à une

température peu élevée, me paraît aussi être celle suivant laquelle la nature l'aurait opéré avec la *dépense minimum* de chaleur.

Si l'on remarque en même temps que le poids de la vapeur nécessaire pour fondre un poids de neige déterminé n'est, dans tous les cas, qu'une assez petite fraction de ce dernier, on voit qu'il est parfaitement inutile, pour l'hypothèse que je soutiens, de supposer que le courant gazeux ait eu une température supérieure à celle qui lui était nécessaire pour vaincre la pression atmosphérique. Ce courant a pu arriver à la surface du sol à une température bien inférieure à celle des courants gazeux qui se dégagent de l'Etna et du Cotopaxi, inférieure même à celle des courants gazeux des soffioni de la Toscane (120°) et des geysers de l'Islande (124°,24) (1).

Le calcul de M. Mousson est donc inapplicable au phénomène erratique, tel que mon hypothèse tend à le faire concevoir. Mais M. de Charpentier y a associé une seconde supposition également étrangère à mon hypothèse : il parle d'une fusion générale qui se serait opérée en *une seconde ;* je n'ai jamais entendu rien de pareil.

Les torrents des Hautes-Alpes, des Cévennes et de beaucoup d'autres contrées montagneuses, font quelquefois irruption dans leur lit desséché avec une rapidité plus grande que celle avec laquelle un homme à cheval peut les fuir, et noient ainsi le voyageur surpris dans leurs gorges. Ces invasions subites résultent d'averses qui sont venues fondre dans les bassins de réception de ces torrents, mais dont la chute a duré un temps appréciable, plusieurs minutes, une demi-heure, une heure. L'eau se rassemble d'abord avec une certaine lenteur, et c'est quand elle est réunie en grande masse qu'elle se déchaîne avec cette vitesse effrayante dont je viens de parler.

Les dégels du printemps, qui exigent toujours quelques heures du souffle d'un vent assez chaud pour être très chargé de vapeur d'eau, produisent eux-mêmes des crues rapides et désastreuses, ainsi qu'on peut le voir dans l'excellent ouvrage de M. Surell sur les torrents des Hautes-Alpes (2), et comme le savent d'ailleurs tous les habitués des hautes montagnes.

---

(1) A. Descloiseaux, *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XIX, p. 459.

(2) *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*, par M. Surell, ingénieur des ponts et chaussées. L'Académie des sciences, dans sa

Les débâcles des rivières, lorsqu'elles se débarrassent de leurs glaces au dégel, sont des événements soudains, engendrés par des phénomènes qui progressent lentement jusqu'à un certain degré. Ces débâcles se propagent si rapidement, que, pour en atténuer les dangers, on les annonce quelquefois au bruit du canon.

On pourrait citer bien d'autres exemples de phénomènes rapides, préparés graduellement. Le dégel de la masse de neige et de glace éboulée en 1835 de la Dent du Midi produisait des masses boueuses qui grossissaient lentement, se mettaient enfin en mouvement, et qui, à des intervalles assez éloignés, débouchaient avec impétuosité par la gorge du nant de Saint-Barthélemy. Guidé par M. de Charpentier lui-même et par M. Lardy, j'ai vu avec un vif intérêt dans ces débordements boueux, qui flottaient, avec une aisance incroyable, des blocs calcaires de dimensions considérables, quoique inférieures à la profondeur du courant, une image en miniature du phénomène erratique tel que je le conçois.

Le grand dégel erratique produit surtout, comme ceux du printemps, par l'action de la vapeur d'eau sur la neige, aurait exigé de même un certain temps pour la fusion de cette neige et le rassemblement des eaux. En parlant d'une fusion opérée en un instant, je n'ai pas entendu fixer précisément la durée de cet *instant géologique*, et encore moins la limiter à *une seconde*.

Le calcul qui conduit M. de Charpentier au nombre effrayant de 58,000,000 de degrés (1) consiste à introduire cette durée d'*une seconde* dans la formule de M. Mousson. On voit qu'il repose sur deux éléments qui, l'un et l'autre, sont étrangers et même contraires à l'hypothèse que je défends. Je n'aurai donc plus à m'en occuper.

M. de Charpentier fait aussi un calcul sur la quantité d'eau qui aurait dû traverser en *une seconde* la plaine de Lastos, au bas de la vallée de Larboust. Il trouve un nombre de 48,000,000 de mètres cubes, et ce nombre est produit par la multiplication des trois facteurs 400, 1,200 et 100 :

$$400 \times 1{,}200 \times 100 = 48{,}000{,}000.$$

---

séance du 6 juin 1842, a décerné à cet ouvrage le prix de statistique fondé par M. de Montyon. (*Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, t. XIV, p. 877. 1842.)

(1) Voyez ci-dessus, p. 278 du présent volume du *Bulletin*.

Or, les valeurs de ces trois facteurs sont contestables; chacune en particulier.

1,200 mètres représentent la largeur moyenne de la vallée ; cette largeur moyenne n'a pas été mesurée.

100 mètres est la vitesse par seconde que M. de Charpentier attribue au courant erratique. Mais M. de Collegno, bien loin de supposer une pareille vitesse, en repousse formellement la supposition; il rapporte, à la vérité, *exempli gratiâ*, un calcul qui donnerait une vitesse de 121 mètres, mais il ajoute immédiatement (p. 52 du tirage à part) que *ce résultat est beaucoup trop élevé pour qu'on puisse attribuer une telle rapidité aux courants descendus des Pyrénées* (1).

De mon côté, je n'ai jamais cherché à préciser d'une manière absolue la vitesse des courants diluviens, mais j'ai surtout évité de leur attribuer des vitesses exorbitantes, telles que celle de 100 mètres par seconde. Je ne me souviens d'avoir parlé de la vitesse des courants diluviens que dans un aperçu de mon hypothèse sur leur origine, que j'ai remis en 1832 à M. Arago, et d'après lequel mon illustre confrère a rédigé la note suivante, imprimée dans l'*Annuaire du bureau des longitudes* pour 1832, p. 348.

« La distance du *Thian-Chan*, à l'embouchure du fleuve *Léna*, » est de 8 à 900 lieues. A raison de 100 lieues par vingt-quatre » heures, un courant d'eau la parcourrait en huit jours. Supposons » que le Thian-Chan se soit soulevé *en hiver*, dans un pays où » les vallées nourrissaient des Éléphants, et où il existait des » *montagnes* couvertes de neige. Les vapeurs chaudes sorties du » sein de la terre au moment de la convulsion, auront fondu une » partie de cette neige et produit une grande masse d'eau à la tem- » pérature de zéro degrés. L'eau se sera précipitée vers la mer, avec » le reste des glaces et des neiges non encore fondues, entraînant » avec elle les corps des animaux qu'elle aura rencontrés dans les » vallées. Or, en huit jours, les cadavres, flottant dans de l'eau à » 0°, n'auront pu se putréfier que très légèrement. Une fois arrivés, » le climat sibérien d'aujourd'hui suffit pour expliquer leur con- » servation. »

En supposant la lieue de 5 kilomètres, la vitesse de 100 lieues par jour, dont il est question ici, revient à celle de 500,000 mètres par jour ou de $5^{m},78$ par seconde; *un peu moins de* 6 *mètres par seconde.*

---

(1) H. de Collegno, *Sur les terrains diluviens des Pyrénées.* (*Annales des sciences géologiques*, publiées par M. Rivière. 1843).

Une vitesse moyenne de 6 mètres par seconde attribuée aux courants diluviens, dans les plaines, suppose qu'ils en avaient une plus considérable dans les vallées des pays de montagnes. Aujourd'hui, les fleuves qui coulent dans les plaines, qui entourent les Alpes, acquièrent quelquefois dans leurs crues des vitesses de 4 à 5 mètres par seconde, et M. Surell calcule, dans son excellent ouvrage sur les torrents des Hautes-Alpes, que ces torrents, lorsqu'ils roulent des blocs de 20, de 30 et même de 60 mètres cubes et au-delà, peuvent avoir une vitesse de $14^m,28$ par seconde, vitesse qu'il qualifie d'*excessive*, en remarquant que celle des vents impétueux n'est que de 15 mètres par seconde (1). Si la même proportion devait être suivie dans le cas qui nous occupe, une vitesse de 6 mètres par seconde dans les plaines en supposerait une de $19^m,56$ dans les montagnes. Mais il serait aisé de démontrer que, comparativement aux crues des cours d'eau actuels, la vitesse des courants diluviens dans les montagnes n'a pas dû surpasser leur vitesse dans les plaines, dans une aussi forte proportion que celle qui s'observe aujourd'hui dans les crues des torrents comparées à celles des rivières; la vitesse de $19^m,56$ est donc probablement trop grande comparativement à celle de 6 mètres par seconde; mais comme celle-ci n'était indiquée que comme un *minimum* qui a pu être dépassé de beaucoup, peut-être pourrait-on supposer que les vitesses des courants diluviens dans les Pyrénées ont atteint non seulement $19^m,56$, mais de 20 à 30 mètres par seconde. On pourrait même être tenté d'en supposer de plus grandes encore; mais ces vitesses sont déjà énormes, et, d'après les faits rapportés dans le Mémoire précédemment cité de M. Surell, elles ont dû être capables de produire les effets les plus étonnants.

D'ailleurs, lorsqu'on cherche à se rendre compte de la vitesse que les courants diluviens ont pu acquérir, il faut se souvenir que ces courants n'ont pas dû être formés d'eau limpide. M. de Collegno rappelle dans son Mémoire que, suivant les anciennes idées de Palassou, semblables en cela à celles de Saussure, les courants diluviens ont dû être extrêmement boueux et même pâteux, ce qui empêcherait d'admettre complétement pour eux les vitesses que des calculs même rigoureux pourraient tendre à leur assigner. Un courant d'eau dont la vitesse s'accélère devient en même temps de plus en plus boueux et par suite de plus en plus visqueux, *circonstance qui tend à limiter sa vitesse et à en empêcher l'accroissement indéfini.*

---

(1) Surell, *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*, p. 250.

Dans quelques remarques sur deux points de la théorie des glaciers que j'ai lues à la Société philomatique le 30 juillet 1842 (1), sans sortir des termes généraux, j'ai eu soin de graduer les expressions de manière à exprimer la même distinction. Je disais en effet « qu'avec des pentes et des sections pareilles à celles des cou- » rants diluviens, des courants d'eau prendraient des vitesses » effrayantes ; et que des courants de la boue même la plus vis- » queuse, formant des *nants sauvages* d'une échelle gigantesque, » prendraient encore des vitesses énormes et capables d'effets pro- » digieux. »

Ici encore j'ai omis de fixer avec précision ces vitesses énormes ; mais les nombres mentionnés ci-dessus fournissent les moyens de s'en former une idée. Une grande partie des effets que les courants d'eau sont susceptibles de produire sur leurs lits sont proportionnels au carré de leur vitesse. Le Rhône, à Lyon, dans ses plus grandes crues, atteint rarement la vitesse de 5 mètres par seconde. Celle d'un courant animé d'une vitesse de 20 mètres serait quatre fois plus grande. Ses effets destructeurs seraient donc seize fois plus considérables. Mais si ce courant, au lieu d'être formé d'eau, était formé de boue ayant une densité double de celle de l'eau, les effets seraient encore doublés, et deviendraient trente-deux fois aussi grands que ceux du Rhône dans ses plus grandes crues. Or, si le Rhône venait à choquer ses ponts, ses quais, ses berges avec une force trente-deux fois aussi grande que celle avec laquelle il les choque dans ses plus grandes crues actuelles, il est certain qu'il les balaierait en peu d'instants et en transformerait les matériaux en blocs erratiques et en gravier. De pareils effets peuvent suffire pour expliquer l'origine des vallées, et je crois qu'en attribuant aux courants diluviens une vitesse de 20 à 30 mètres par seconde (2) on atteint à peu près les limites de la vraisemblance ; car une vitesse de 30 mètres comporte encore des effets plus que doubles de ceux que je viens d'indiquer,

---

(1) *Ann. des sciences géol.*, publiées par M. Rivière, p. 565. 1842.

(2) Il n'est personne qui n'ait remarqué des jambages de portes cochères *sillonnées* et *striées* par les extrémités des essieux des charrettes. Ces essieux, au moment du choc, ont rarement une vitesse de plus d'*un à deux mètres par seconde*.

Une locomotive de chemin de fer ne prend que rarement une vitesse de plus de *dix mètres par seconde*. Or, personne ne doutera qu'une *locomotive armée de pointes de quartz* ne fût capable de strier la paroi intérieure d'un tunnel.

Les fusils à piston n'ont pas encore fait oublier complétement les

attendu que 900, carré de 30, est plus que double de 400, carré de 20.

Les courants diluviens n'ont pas dû avoir la même vitesse dans tous leurs points : comme nos rivières, ils ont dû quelquefois se ralentir, et c'est alors surtout qu'ils ont dû former des dépôts.

Indépendamment des observations générales que j'ai rappelées, M. de Collegno remarque spécialement (p. 48 et 58, et en plusieurs autres endroits de son Mémoire) que les grands dépôts, tels que celui de Garen (qui tient à la plaine de Lastos) peuvent être attribués à un *ralentissement* que le courant aura éprouvé par suite des coudes, des étranglements et des élargissements successifs de la vallée, et c'est précisément pour un pareil point que M. de Charpentier, dans ses calculs, prête au courant une vitesse à peu près égale au quart de celle d'un boulet de canon !

Enfin, le troisième facteur, 400 mètres, est la hauteur au-dessus du fond de la vallée actuelle à laquelle on observe les débris erratiques les plus élevés. Or, on peut remarquer d'abord, en thèse générale, que pour expliquer les traces laissées par les courants diluviens sur les flancs des vallées, il n'est pas nécessaire de supposer que ces courants aient jamais été capables de les remplir depuis leur fond actuel jusqu'à la limite supérieure des traces qu'ils ont laissées, car ces mêmes courants, pendant leur durée, ont dû creuser et élargir le fond des vallées de manière à y couler, d'instant en instant, à des niveaux de plus en plus bas.

M. de Collegno remarque d'ailleurs (p. 57) qu'un flot arrivant contre une pente de 20 à 30°, y glisserait en la remontant et pousserait devant lui des blocs qui pourraient atteindre ainsi une hauteur supérieure à celle indiquée par le calcul, c'est-à-dire dans le cas actuel, une hauteur supérieure à celle que le courant n'aurait pas dépassée s'il avait continué son cours en ligne droite. Il rappelle en outre (p. 48) qu'un flot bourbeux peut rejeter à des niveaux assez élevés au-dessus de sa surface, quelques uns des

---

anciens fusils à pierre. Rien ne ressemble plus aux stries erratiques que celles que la pierre d'un fusil produit sur la platine. Or, M. le colonel d'artillerie Morin, membre de l'Académie des sciences, estime, d'après ses propres expériences, que la pierre d'un fusil choque la platine, en ouvrant le bassinet, avec une vitesse d'environ 5 à 6 mètres par seconde.

Je suis convaincu qu'un courant boueux, mêlé de blocs et de fragments de quartz, n'aurait pas besoin d'être animé d'une vitesse de 20 mètres par seconde pour couvrir son lit de stries.

fragments qu'il a entraînés. On peut voir dans l'ouvrage déjà cité de M. Surell, que des torrents dont la vitesse ne dépasse peut-être jamais 15 mètres par seconde, lancent quelquefois des blocs de roches sur leurs bords ou sur leurs ponts, de manière à les ficher dans les charpentes. Ce savant ingénieur démontre qu'une vitesse de $14^{m},28$ par seconde « peut rendre compte du transport de ces » blocs énormes (20, 30 et même 60 mètres cubes et au-delà), » que l'on voit après les crues dispersés çà et là sur les lits de » déjection. On se rappelle, ajoute-t-il, que le torrent les balaie » avec une telle facilité qu'ils sont souvent *projetés à plusieurs* » *mètres de hauteur hors de son lit* (1). »

Un torrent qui aurait tourné dans la plaine de Lastos avec une vitesse de 100 mètres par seconde se serait trouvé dans une circonstance éminemment propre à lui faire lancer de pareilles *éclaboussures* à une hauteur supérieure à son niveau moyen, et sans admettre qu'il ait jamais eu cette vitesse énorme, on peut expliquer, par le concours des deux effets que je viens de mentionner, pourquoi les débris erratiques atteignent, sur la pente qui borde au nord la plaine de Lastos et qui devait être exposée au choc du courant, une hauteur *supérieure de beaucoup à celle qu'ils atteignent sur la pente opposée*. De là il résulte que la hauteur de 400 mètres à laquelle on observe encore des débris erratiques sur la pente septentrionale exposée au Sud serait, de toute manière, une mesure exagérée de la profondeur du milieu du courant.

On voit donc que le nombre 48,000,000 de mètres cubes, produit de trois facteurs contestables ou même complétement incompatibles avec les suppositions admises par M. de Collegno, est affecté relativement à la discussion à laquelle il devrait servir de base, d'une inadmissibilité triple et je pourrais dire *cubique*.

Mais il y a plus encore : ce nombre, fût-il calculé rigoureusement, devrait être réduit dans une forte proportion par cela seul que, dans le Mémoire de M. de Charpentier, il est censé se rapporter à de l'eau pure, tandis que les courants diluviens devaient être excessivement boueux. M. de Collegno n'a pas oublié de rappeler (p. 53 de son Mémoire), que le courant de la débâcle de Bagnes, dans la partie la plus rapide de son cours où il avait une vitesse de 11 mètres par seconde, contenait seulement, d'après l'estimation de M. Escher de la Linth 1/8 de son poids, ou ce qui revient au même $\frac{10}{38}$, ou un peu plus d'un quart de son volume, d'eau pure. On pourrait être tenté d'objecter que cette proportion

(1) Surell, *Études sur les torrents des Hautes-Alpes*, p. 250.

entre l'eau et la matière terreuse entraînée diffère si énormément de celle qui a été observée dans les rivières les plus troublées par les crues, comme le Rhône, le Nil, le Mississipi, le Gange, qu'on serait tenté de soupçonner qu'elle a été évaluée d'une manière exagérée. Je réponds à cela qu'il n'y a aucune parité entre une *eau trouble* qui tient les matières terreuses en suspension et une *boue coulante*. Je ne crois pas qu'il y ait une très grande exagération dans l'évaluation que je viens de citer, parce que pour rendre molle et coulante une masse terreuse il faut certainement beaucoup moins d'eau qu'il n'en faudrait pour laver et isoler les grumeaux solides qu'elle pourrait renfermer, opération qui exige nécessairement que l'eau *prenne en suspension* toutes les matières terreuses qui y sont mélangées. Or, l'expérience a appris que pour laver les minerais de fer en grains, on peut quelquefois, comme dans le département des Ardennes, ne dépenser qu'un *volume d'eau égal à sept fois seulement celui des minerais bruts* (1). Une grande masse du mortier dont on se sert pour bâtir serait une masse coulante; or, quand un maçon fait du mortier, il n'y met pas, en général, un volume d'eau égal à celui des matières terreuses et sableuses qu'il emploie.

Enfin, il s'est glissé une erreur ou un malentendu considérable dans le calcul que fait M. de Charpentier de la surface dont les neiges, rapidement fondues, ont pu fournir les eaux du courant diluvien de la plaine de Lastos.

D'après la feuille 76 de Cassini, cette surface équivaut au moins à une ellipse dont le grand axe serait de 12,500 mètres, le petit axe de 5,500 mètres, et dont l'aire aurait par conséquent pour mesure $\pi . 6250 . 2,750 = 53,996,000$ mètres carrés, ou en nombres ronds 54,000,000 de mètres carrés. Cette surface serait même augmentée d'un quart en sus et portée à 67,500,000 mètres carrés, si on y comprenait, comme il paraîtrait convenable de le faire, les surfaces des différents vallons dont les eaux affluent à Garen et passent en face du village de Cazaux, au-dessus duquel se trouvent ces blocs situés à 400 mètres au-dessus du torrent d'Oo, qui fournissent un des éléments du calcul.

M. de Charpentier n'évalue qu'à 31,000,000 mètres carrés la surface dont les eaux coulent vers la plaine de Lastos; il la réduit par conséquent à moins de la moitié de sa grandeur réelle.

On trouvera peut-être que je me montre sévère à l'égard de ces chiffres, mais il existe une circonstance qui devait à elle seule

(1) Parrot, *Annales des mines*, 2e série, t. VIII, p. 47. 1830.

rendre ces mêmes chiffres singulièrement suspects d'exagération, c'est qu'en répétant le calcul pour d'autres localités moins resserrées que la vallée de Larboust, on n'arrive plus à la même impossibilité. Ainsi, M. de Collegno, dans la réponse qu'il a faite lui-même, dans une séance du congrès scientifique de Milan, aux objections de M. de Charpentier, réponse qui a été imprimée par extrait dans les actes du congrès et en entier dans le *Bulletin de la Société géologique*, 1844-1845, et qui a formé en grande partie les chapitres 13 et 32 des *Elementi di geologia* de cet habile géologue, M. de Collegno, dis-je, a montré que la fusion subite des glaciers de la Valteline pourrait rendre compte de la distribution des blocs erratiques dans le bassin du lac de Como, même dans ses circonstances les plus étonnantes et dans celles qui sont les plus rebelles à l'explication glacialiste.

Au surplus, tout en signalant l'exagération des nombres sur lesquels MM. de Charpentier et Mousson ont basé leur argumentation, il est une justice que je suis heureux de pouvoir rendre à mes savants amis, c'est qu'ils ont signalé deux points par lesquels la question des phénomènes erratiques est accessible au calcul. Ce qui me paraît prouver que le calcul n'est pas ici hors de saison, c'est qu'il a conduit ces habiles géologues à toucher, avec leur sagacité habituelle, le *point délicat de la question*, en s'attaquant à la grandeur de la quantité d'eau qui, toute réduction faite, a été nécessaire pour la production des courants diluviens. Ils me paraissent avoir trouvé le moyen de démontrer que, relativement à beaucoup de vallées moins favorablement situées que la Valteline, la fusion des neiges d'un hiver *normal* n'aurait pu suffire pour les produire, et que l'hypothèse de la fusion des neiges ne peut suppléer à l'insuffisance aujourd'hui reconnue de celle de la rupture des lacs (*burting of lakes*) pour expliquer les phénomènes erratiques par les *causes actuelles*.

En cherchant, moi-même, dans la fusion des neiges et des glaces un nouveau moyen de rattacher ces phénomènes aux soulèvements des chaînes de montagnes, je n'ai pas eu la pensée de les expliquer par les *causes actuelles*, et par conséquent je ne me suis pas assujetti à ne prendre en considération que les effets possibles de la fusion des neiges et des glaces accumulées dans un *hiver ordinaire*.

Chacune des années pendant lesquelles l'écorce du globe s'est hérissée de nouvelles chaînes de montagnes a dû être presque aussi anormale au point de vue météorologique qu'au point de vue géologique, et il paraîtrait assez naturel d'admettre au nombre

des anomalies météorologiques qu'elle a dû présenter la production d'une quantité extraordinaire de pluie pendant l'été et de neige pendant l'hiver. La question de savoir comment cette surabondance a pu être assez grande pour rendre possibles des courants aussi considérables que l'ont été les courants diluviens me paraît à moi-même environnée encore de beaucoup de difficultés; mais je ferai observer que ces difficultés n'ont rien qui soit particulier à la vallée de Larboust, ni même aux vallées des pays de montagnes. Elles existent pour la plaine de Pamiers (Ariége), pour les plateaux de Jaca, de Pampelune (en Navarre), de Mont-Dauphin (Hautes-Alpes), du fort Barrault (Isère), pour la plaine dans laquelle est creusé le lit de l'Ain, immédiatement au-dessous de Champagnole (Jura), pour les plaines de Munich, de la côte Saint-André (Isère), de la Crau (Bouches-du-Rhône), et pour beaucoup d'autres, tout aussi bien que pour la plaine de Lastos, et si on y voyait un argument suffisant pour couvrir la dernière d'un glacier, on devrait (sauf à expliquer comment un glacier peut produire une plaine) en placer aussi dans les autres, ce à quoi, si je ne me trompe, il a été sursis provisoirement. Les mêmes difficultés se présentent aussi pour les vallées des pays de plaines, *où mes savants amis admettent avec moi l'existence des courants diluviens;* et par conséquent, s'il était démontré que ces difficultés ne pussent absolument être résolues, cela ne constituerait pour eux-mêmes qu'un demi-succès. Ils ne doivent pas avoir oublié que c'est seulement en revenant, pour les terrains erratiques des vallées qui traversent les plaines, à l'hypothèse de certains courants diluviens qu'ils ont pu se débarrasser de l'hypothèse des *glaces universelles* et des *plaisanteries* qu'il était aisé de faire sur d'anciens glaciers du Morvan, suivant jusqu'à la mer les vallées de l'Yonne et de la Seine; sur d'anciens glaciers de la Côte-d'Or, suivant toutes les sinuosités de la Marne et contournant la presqu'île de Saint-Maur pour se réunir, à Charenton, aux glaciers du Morvan; sur d'anciens glaciers de l'Argonne et de l'Ardenne, suivant tous les contours des vallées de l'Aisne et de l'Oise pour venir se joindre aux premiers à Conflans-Sainte-Honorine.

Des débris erratiques de toutes les provenances que je viens de désigner se trouvent réunis ensemble dans les sablières de Rouen, et de toutes les hypothèses proposées pour expliquer leur transport et leur mélange, celle de grands courants parcourant simultanément toutes les vallées dont les eaux affluent à Rouen, est la seule qui puisse mériter un examen sérieux. D'après la grosseur des blocs

et le volume total des débris qu'ils ont charriés, ces courants méritaient bien le nom de *diluviens;* or, relativement aux courants diluviens, je suis également convaincu de deux choses : la première, c'est qu'ils ont été produits par des forces qui existent constamment dans la nature; qui, pendant les périodes de tranquillité, sont bien plutôt endormies qu'anéanties ; et qui, dans tous les paroxysmes de leur action, demeurent constamment soumises aux lois ordinaires de la physique : la seconde, c'est que pour produire les courants diluviens, ces forces ont agi avec une énergie *extraordinaire*. Si elles n'avaient pas déployé une énergie extraordinaire, les traces des courants diluviens de différentes époques n'apparaîtraient pas dans la série des phénomènes géologiques comme autant de perturbations et n'auraient pas conduit à recourir aux dénominations de *cataclysmes* et de *terrains clysmiens*. Le soulèvement d'un système de montagnes est en lui-même un fait *extraordinaire*, s'il est vrai, comme j'ai essayé de le montrer, que le genre humain n'a été témoin, tout au plus, que d'un seul phénomène de ce genre.

Je ne puis donc m'effrayer de voir établir que, pour expliquer les courants diluviens, il faut recourir à des hypothèses considérables, et je ne puis que rendre hommage à la justesse d'une pareille déduction.

Au reste si M. de Charpentier et M. Mousson voulaient bien rétablir leurs calculs sur des données plus conformes aux aperçus très nettement indiqués par M. de Collegno, ils trouveraient moins exorbitantes les hypothèses à faire sur les dégagements de vapeur qui, à en juger par les éruptions actuelles, ont pu successivement *précéder*, *accompagner et suivre* les éruptions des ophites, comme des geysers, et des soffionis temporaires, dont les eaux thermales et salines des Pyrénées ne seraient plus que de faibles vestiges.

S'il s'agissait d'expliquer les courants diluviens par des pluies, il faudrait les supposer immenses; mais pour les neiges, *qui peuvent s'accumuler* sur les montagnes pendant des années et des siècles, on peut avoir recours au temps pour faciliter l'explication. Lorsqu'on attribue les phénomènes diluviens à de grandes pluies, on est obligé de supposer que toute la quantité d'eau qui y a été dépensée est tombée en très peu de jours; mais lorsqu'on les attribue à une fonte de neiges, on peut concevoir que toutes les neiges d'un hiver et même, en partie, celles de plusieurs hivers consécutifs y aient été employées. Le recours à la neige réduit à son *minimum* la difficulté de concevoir comment la

quantité d'eau nécessaire aux courants diluviens a pu se trouver réunie à la naissance des vallées.

Le soulèvement de Monte-Nuovo, près de Pouzzoles (29 septembre 1538), fut *précédé pendant deux ans* par des tremblements de terre. Le soulèvement du Malpays de Jorullo (29 septembre 1759) et la grande éruption du Vésuve, en 1760, furent *précédés* par une série de tremblements de terre qui dura *dix ans*, et sur laquelle M. de Collegno a écrit une notice pleine d'intérêt. Les secousses s'étendirent de la Perse au Mexique. Le tremblement de terre de Lisbonne (1er novembre 1755) fut compris dans leur nombre. Plusieurs d'entre eux furent accompagnés de dégagements de vapeur. Les *Hornitos de Jorullo* fumaient encore en 1803, c'est-à-dire quarante-quatre ans après le soulèvement.

Un certain changement dans l'aspect du ciel et une baisse considérable du baromètre (indice de la présence de beaucoup de vapeur d'eau dans l'atmosphère) ont été les signes précurseurs d'un grand nombre de tremblements de terre.

Je ne vois pas ce qui empêcherait de supposer qu'à l'époque de l'éruption des ophites, des vapeurs se sont dégagées pendant longtemps du sein de la terre; que ces vapeurs ont couvert les montagnes de quantités immenses de neige; mais qu'à plusieurs reprises des bouffées plus considérables et subites de vapeurs aqueuses, acides et salines, ont liquéfié les neiges accumulées.

Peut-être ne serait-il pas impraticable de concilier ainsi, jusqu'à un certain point, mon hypothèse avec la partie fondamentale des idées d'après lesquelles M. de Charpentier a si ingénieusement expliqué la formation de ses immenses glaciers. Il suffirait d'admettre qu'*un dixième* ou même seulement *un quinzième* de la vapeur se serait dégagé par accès brusques. D'après les calculs exposés plus haut, il n'en aurait pas fallu davantage, car la vapeur aurait pu liquéfier environ huit fois son poids de neige, les sels et les acides auraient concouru au même effet, et la neige n'a pas besoin d'être fondue en totalité pour produire un courant. Peut-être mon excellent maître et ami ne se refusera-t-il pas à me faire de son côté cette légère concession, qui se réduirait presque à reconnaître combien il serait difficile de concevoir que les efforts aveugles des soulèvements eussent réussi à produire de prime abord des générateurs de vapeur parfaitement réguliers et complétement exempts d'intermittences (1) et de soubresauts.

---

(1) On expliquerait très simplement, par ces intermittences, les étages successifs que présentent les vallées des Pyrénées et de beau-

On cherche sur la surface du globe des traces d'anciens glaciers, et il est naturel de les y chercher dans les limites où, comme je me suis empressé de le reconnaître depuis longtemps (1), on peut concevoir que le climat de l'Europe a été autrefois plus favorable qu'aujourd'hui à l'extension des glaciers. Mais il est naturel de chercher aussi, sur la surface du globe, les traces de beaucoup d'autres phénomènes dont l'ordre actuel des choses nous conduit à concevoir la possibilité.

Les inondations les plus étonnantes, et je pourrais dire les plus diluviennes, que les annales de la nature nous présentent, ont été produites, soit par des glaciers, soit par des volcans, et quelquefois par les deux causes réunies. Je rappellerai la catastrophe de Bagnes, celle de la Dent du Midi, celle qui a eu lieu dernièrement, d'après M. le colonel Acosta, dans les environs de Bogota, les éruptions déjà citées du Coto-Paxi, celles de l'Islande, mentionnées par M. Krug de Nidda, celle de l'Etna en 1755, la ruine d'Herculanum et de Pompeia, l'éruption du volcan de Galung-Gung, en 1822, dans l'île de Java, qui fit périr 4000 habitants, celle du volcan de Wunzen, au Japon, qui fit périr, par l'action des eaux, 53,000 personnes.

Voici dans leur ensemble et dans l'ordre chronologique des phénomènes, les passages principaux des récits que La Condamine et Bouguer nous ont laissés des éruptions semi-diluviennes de Coto-Paxi.

Bouguer et La Condamine, étant sur le Pinchincha, le 19 juin 1742, remarquèrent un tourbillon de fumée qui s'élevait de la

---

coup d'autres pays, étages sur lesquels M. Boubée a appelé à plusieurs reprises l'attention des géologues.

(1) Je demande la permission de reproduire ici le passage du rapport auquel je fais allusion... « Cette supposition d'hivers plus froids en » Europe, pendant la période qui a précédé la nôtre immédiatement, » serait d'ailleurs en harmonie avec plusieurs autres résultats d'obser- » vations qu'il serait trop long de rapporter ici... Parmi ces faits cu- » rieux, je citerai certaines digues de débris qu'on observe dans les » Alpes, à une certaine distance (quelquefois à près d'une lieue) de » l'extrémité inférieure des glaciers actuels, notamment dans la vallée » de Chamouny et dans celle de Ferret. Les digues dont je parle » m'ont présenté tous les caractères de *véritables moraines*. Peut- » être le *Gulf-stream*, qui réchauffe aujourd'hui l'Europe occiden- » tale, n'existait-il pas encore pendant les dernières périodes géolo- » giques qui ont précédé la nôtre. » *Comptes rendus des séances de l'Académie*, t. XIV, p. 102 (1842). Rapport sur un mémoire de M. Durocher.

montagne du Coto-Paxi. Nous apprîmes, à notre retour à Quito, dit La Condamine, que cette montagne, qui avait jeté des flammes plus de deux siècles auparavant, peu après l'arrivée des Espagnols, s'était nouvellement enflammée le 15 au soir, et que la fonte d'une partie des neiges avait causé de grands ravages. Revenus à Quito le 22 juin, on n'y parlait que de l'éruption du Coto-Paxi et des suites funestes de l'inondation causée par la fonte subite d'une grande partie des neiges, dont l'amas, entassé depuis deux siècles au moins, couvrait encore la veille toute la partie supérieure de cette montagne (1).

. . Le dernier incendie (du Coto-Paxi), celui de 1742, qui s'est fait en notre présence, dit Bouguer, n'a causé de tort que par la fonte des neiges, quoiqu'il ait ouvert une nouvelle bouche à côté, vers le milieu de la hauteur. Il y eut deux inondations subites, celle du 17 juin et celle du 9 décembre, mais la *dernière* fut incomparablement plus grande; l'eau, dans sa première impétuosité, bouleversa entièrement le poste qui avait servi de station à nos sixième et septième triangles; elle monta de plus de 120 pieds en certains endroits. Sans parler d'un nombre infini de bestiaux qu'elle enleva, elle rasa 5 à 600 maisons, et elle fit périr 8 à 900 personnes. Toutes ces eaux avaient 17 à 18 lieues de chemin à parcourir ou plutôt à ravager vers le S., dans la Cordilière, avant de pouvoir en sortir par le pied du Tonguragua; elles ne mirent pas plus de trois heures à faire ce trajet (2). (Cela suppose que la vitesse moyenne du courant était de 6 à 8 mètres par seconde.)

Après 1742, il y a eu de nouveaux embrasements du Coto-Paxi à plusieurs reprises, particulièrement le 27 septembre 1743 et la nuit du 30 au 31 novembre 1744, et les effets ont encore été plus terribles.

. . En 1744, dit La Condamine, les rivières ou torrents s'enflèrent si prodigieusement que trois ou quatre ponts de pierre furent emportés, et qu'une manufacture de drap très solidement bâtie, à 12 lieues du volcan, fut entièrement détruite. Le village de Napo, distant de plus de 30 lieues en droite ligne, peut-être de plus de 60 par les grandes sinuosités du cours des rivières entre les montagnes, fut enlevé entre minuit et une heure du matin, cinq à six heures après la grande explosion (3). (Cela suppose que

(1) La Condamine, p. 150.
(2) Bouguer, *Mémoires de l'Académie* pour 1744, p. 271.
(3) La Condamine, p. 156.

la vitesse moyenne du courant était de 10 à 15 mètres par seconde.)

Par des lettres de Quito, reçues pendant que cet ouvrage est sous presse, j'apprends que le 3 septembre 1750, *Coto-Paxi* faisait entendre depuis trois jours, sans discontinuation, de nouveaux mugissements plus terribles que jamais, entremêlés de sons éclatants qui faisaient craindre une nouvelle explosion (1).

On voit par ces différents récits que Bouguer et La Condamine ont eu connaissance de quatre inondations produites par le Coto-Paxi, dans l'espace de trois ans et demi, et que la seconde de ces inondations, qui a été l'une des plus désastreuses, est résultée de la fusion des neiges accumulées sur la cime de la montagne dans l'espace de moins de six mois, du 17 juin au 9 décembre 1742. La fusion des neiges n'a pu être produite par les laves, car le Coto-Paxi est du nombre des volcans qui n'en ont jamais rejeté. Elle ne peut être attribuée qu'au courant gazeux sorti du volcan au moment de l'éruption, et particulièrement à la *chaleur latente* de la vapeur d'eau contenue dans ce courant gazeux, et condensée en partie au contact de la neige.

Cette vapeur s'est probablement trouvée en grand excès, car il n'est pas dit que la fusion de la neige ait influé en aucune manière sur l'allure générale des éruptions du Coto-Paxi comparées à celles du Pinchincha qui n'entre pas, ou qui entre à peine dans la région des neiges perpétuelles.

Si, au lieu de se dégager en une colonne compacte par une cheminée établie depuis longtemps, le courant gazeux eût trouvé la cheminée fermée et se fût dégagé au-dessous de la neige par une multitude de fissures, comme par une pomme d'arrosoir, une masse de vapeur infiniment moindre aurait pu produire la même inondation. L'inondation aurait été plus forte si le Tunguragua avait fait éruption en même temps que le Coto-Paxi; mais on sait qu'il est très rare que deux volcans d'un même groupe fassent éruption en même temps. Si les cimes neigeuses des Andes, au lieu d'être isolées, formaient une crête continue, et si des vapeurs s'y dégageaient simultanément par toutes les fissures du sol, au lieu d'un phénomène semi-diluvien, il se produirait un véritable déluge.

Bouguer et La Condamine, on vient de le voir, parlent de ces inondations comme de phénomènes devenus habituels, devenus pour ainsi dire des *phénomènes courants* pendant la période d'érup-

---

(1) *Id.*, p. 160.

tion du Coto-Paxi, dont ils ont été les témoins. On pourrait s'étonner de ne pas posséder encore de récits analogues pour les autres volcans des Andes; mais on peut remarquer que ces volcans ne versent pas tous leurs eaux dans une vallée peuplée, cultivée, industrieuse, située aux portes d'une grande ville, et que la France, malheureusement, n'a pas constamment entretenu des académiciens à poste fixe pour observer ce qui se passe sur tous les volcans couverts de neige. Le Coto-Paxi est, au reste, un des plus remarquables parmi ces derniers, tant par sa forme régulière que par la splendeur de sa calotte blanche. *Coto-Paxi*, dans la langue des Incas, signifie *masse brillante*.

D'autres volcans couverts de neige ont d'ailleurs été cités comme donnant lieu à des inondations analogues. Voici en quels termes M. Krug de Nidda, dans son beau Mémoire sur l'Islande, parle de phénomènes du même genre qui ont été observés dans cette île.

. . . . . Les montagnes (1) qui, sur la côte méridionale, s'élèvent à une hauteur considérable (environ 4500 à 5000 pieds = 1461 à 1624 mètres) appartiennent à la formation trachytique. C'est sur ces montagnes que se rassemblent les masses de glace très étendues de la partie méridionale de l'île. La hauteur, la continuité, la masse non interrompue de ces montagnes de trachytes, de même que la douceur et l'uniformité de leur pente méridionale, font que les rayons du soleil ont plus de force, et occasionnent la fusion ou l'agglutination partielle de la couverture de neige, ce qui peut être la cause qui a favorisé la formation et l'accumulation de ces masses énormes de glace. Nulle part, en Islande, on ne trouve les Joküls (c'est ainsi qu'on nomme les montagnes environnées de glaces) plus grands que précisément dans la partie méridionale, où on devrait attendre un climat plus favorable.

Sous ces puissantes couvertures de glace sont cachés les grands volcans de la partie méridionale de l'Islande, qui sont principalement connus par leur redoutable activité et par les ravages auxquels leurs éruptions sont liées... Les masses de glace qui couvrent le goufre souterrain éprouvent l'effet de la chaleur de l'éruption. Des masses d'eau immenses se précipitent dans les parties basses. Ce qui est épargné par elles devient la proie des courants de laves qui les suivent. En 1783, le Skaptar Jokül fit une éruption devenue célèbre par les ravages qu'elle a causés. Auparavant, on ne connaissait pas ce volcan, et aujourd'hui on ne connaît encore

(1) Krug de Nidda, *Archives* de Karsten, t. VII, p. 421.

que les vallées dans lesquelles se sont précipitées les masses d'eau et les laves ; mais on ne connaît pas jusqu'ici leur source, le goufre éruptif d'où proviennent tous ces ravages (1).

M. Descloizeaux, en montant sur l'Hécla, en 1846, a reconnu que les laves de l'éruption de 1845 n'ont fondu les neiges accumulées que jusqu'à une petite distance de leur point de contact. De là, il résulte qu'en Islande, comme sous l'équateur, les neiges qui ont été fondues dans les éruptions volcaniques ont dû l'être par l'action des vapeurs.

Il est naturel de rapprocher de ces faits une observation intéressante que M. Eugène Robert a consignée dans son *Voyage en Islande*. Cet infatigable voyageur a observé sur les dépôts siliceux des anciens geysers, depuis le pied de la montagne de Laugarfiall, qui les domine à l'O., jusqu'auprès des geysers actuels, un grand nombre de blocs arrondis de mimosite (dolérite) à petits grains qui paraissent avoir été entraînés par les eaux. Il faut admettre qu'il y a eu là une débâcle capable de transporter ces blocs sur la surface des dépôts siliceux. Ce phénomène est peut-être résulté de la fusion des neiges opérée par des éruptions volcaniques. M. Eugène Robert a aussi observé que la montagne de Laugarfiall, composée de roches phonolitiques d'un gris bleuâtre est, à sa partie supérieure, *mamelonnée et unie comme toutes les montagnes qu'il a supposées avoir été longtemps sous des eaux puissantes et actives* (2) (*roches moutonnées*).

Je citerai aussi les effets des courants qui, au printemps de 1755, descendirent de la cime de l'Etna, et qui produisirent dans le *val del Bove* des dégradations dont les traces sont encore visibles. Ces courants furent attribués par quelques auteurs contemporains à une éruption aqueuse ; mais d'autres les attribuèrent, avec plus de probabilité, à la fusion des neiges dont l'Etna était encore couvert.

Si les phénomènes observés à l'Etna en 1755 n'ont pas été le résultat de la fusion des neiges, ils peuvent être cités, comme quelques uns de ceux que présenta la première éruption du Vésuve, qui détruisit dans l'année 79 les villes d'Herculanum, de Pompeia et de Stabia, pour prouver que des quantités d'eau considérables sont quelquefois vomies par les volcans; mais, sous ce rapport, ils ont été bien dépassés de nos jours par les éruptions

(1) Krug de Nidda, *Archives* de Karsten, t. VII, p. 421.

(2) Eugène Robert, *Voyage en Islande et au Grnl and*, minéralogie et géologie, p. 184 et 185.

du Galung-Gung, dans l'île de Java, et du Wunzen, au Japon.

M. Léopold de Buch, dans sa *Description physique des îles Canaries*, traduite en français par M. C. Boulanger, décrit ainsi, p. 440, les éruptions du volcan Wunzen ou Unzen, survenues en 1793 :

5e *volcan du Japon*, *Unsen*, sur une presqu'île, à l'E. de Nangazaki.

La montagne était autrefois large et pelée, mais point très élevée. Les vapeurs qui s'échappaient de son sommet pouvaient s'apercevoir à 3 milles de distance (Kämpfer, I, 120); mais le 18 du premier mois (1793), la montagne s'écroula, et il en résulta un enfoncement tellement profond, qu'on ne pouvait entendre le bruit de la chute d'une pierre lancée de la partie supérieure. Des vapeurs épaisses s'élevèrent pendant plusieurs jours de cet orifice.

Le 6 du second mois, le volcan *Bino-no-Koubi* s'ouvrit à environ une demi-lieue de son sommet, des gerbes de flammes en sortirent et s'élevèrent à une hauteur considérable; en même temps, des coulées de lave se répandirent avec une telle vitesse sur le penchant de la montagne, que toute la contrée, sur un espace de plusieurs milles, fut bientôt en proie à un vaste incendie.

Le 1er du troisième mois, à dix heures du soir, on ressentit dans toute l'île de Kiu-Siu (Kidjo), mais principalement à Simabara, un violent tremblement de terre qui fit écrouler des montagnes, renversa les maisons et crevassa le sol en beaucoup de points. Pendant ce temps la lave ne cessa pas de couler (Titsingh, *Mémoire des Djogouns*, par Abel Rémusat, 1820, p. 203 sq., avec un dessin colorié de cette terrible éruption).

Le 1er du quatrième mois, la terre fut de nouveau violemment agitée pendant une heure, et les secousses furent si fortes qu'elles renversèrent des montagnes, et un grand nombre d'habitations furent ensevelies sous les décombres. En même temps, on entendait de tous côtés un effroyable mugissement souterrain; tout à coup la montagne Miyi Yama se souleva dans l'atmosphère, mais elle s'affaissa bientôt sur elle-même et disparut dans la mer. Les vagues, jetées avec force sur le rivage, détruisirent beaucoup de villages situés près de la mer, et une masse considérable d'eau, sortie par les crevasses de la montagne, submergea toute la contrée. Simabara et Figo ne présentèrent plus en un instant que les traces de la plus affreuse dévastation. On évalue à 53,000 le nombre des personnes qui périrent dans cette épouvatable catastrophe.

M. Lyell, dans la 6e édition de ses *Principes de Géologie*, et

M. de Buch, dans sa *Description physique des îles Canaries*, traduite en français par M. C. Boulanger, p. 424, rapportent ainsi, d'après M. Van der Boon Mesch et d'après M. Van der Capellen, les principales circonstances de l'éruption de Galung-Gung en 1822.

La montagne de Galung-Gung (ou Galongoon), située un peu au S. du Talaga Bodas, et au milieu de la vallée, entre les deux chaînes de volcans de Java, dans une partie alors fertile et très peuplée de l'île, était couverte, en 1822, d'une épaisse forêt. On voyait à son sommet une cavité circulaire, mais il n'existait pas de tradition d'aucune éruption antérieure. Déjà, pendant le courant du mois de juin 1822, les eaux de la rivière *Chikunir*, qui descend de la montagne, s'étaient troublées, elles déposaient une poudre blanche, exhalaient une odeur sulfureuse, devenaient acides et commençaient à s'échauffer considérablement, trahissant ainsi le grand mouvement de dissolution qui se développait dans l'intérieur. En juillet, les eaux de la rivière Kumir, l'une de celles qui coulent de ses flancs, devinrent pendant un certain temps chaudes et troubles.

Le 8 octobre, à une heure après midi, des mugissements horribles se firent entendre; la montagne se couvrit immédiatement d'une fumée épaisse, on entendit une forte explosion, la terre trembla, et d'immenses colonnes d'eau chaude et de boue bouillante, mêlées de soufre enflammé, de cendres et de lapilli, gros comme des noix, furent projetés de la montagne, comme une trombe, avec une violence si prodigieuse qu'il en tomba de grandes quantités au-delà de la rivière Tandaï, qui est distante de 40 milles (64 kilomètres).

Chacune des vallées atteintes par cette éruption fut remplie par un torrent brûlant, et les rivières, enflées par l'eau chaude et la boue, débordèrent et entraînèrent un grand nombre d'habitants qui essayaient de s'échapper, et beaucoup de bestiaux, de bêtes sauvages et d'oiseaux. On vit avec étonnement à *Badang*, la rivière de *Chiwulan* charrier vers la mer un nombre immense de cadavres d'hommes, de bestiaux, de rhinocéros, de tigres, de cerfs, et même jusqu'à des maisons entières. Cette éruption d'eau chaude limoneuse continua pendant deux heures, qui suffirent pour consommer la ruine et la dévastation de toute une province. A trois heures, elle avait cessé, mais il tomba alors une pluie épaisse de cendres et de lapilli qui achevèrent de brûler les arbres et les champs épargnés jusqu'alors. A cinq heures, la tranquillité était parfaitement rétablie, et la montagne se découvrit. Mais ce

peu de temps avait suffi pour couvrir de limon tous les villages, toutes les habitations jusqu'à plusieurs lieues de distance. Un espace de 24 milles (39 kilomètres), entre la montagne et la rivière Tandaï, fut couvert de boue bleuâtre sur une telle épaisseur, que les habitants furent ensevelis dans leurs maisons, et que dans toute cette étendue, on ne voyait plus de traces des nombreux villages et des plantations qui y existaient auparavant. Dans cet espace, les corps de ceux qui avaient péri étaient enterrés et cachés dans la boue; mais, près des limites de l'action volcanique, ils étaient répandus sur le terrain en grand nombre et exposés à la vue, en partie bouillis et en partie calcinés.

On remarqua que la boue bouillante et les cendres furent projetées de la montagne avec une telle violence que, tandis qu'un grand nombre de villages éloignés furent complétement détruits et enterrés, d'autres, plus voisins de la montagne, furent à peine endommagés.

La première éruption dura environ cinq heures, et les jours suivants la pluie tomba par torrents, et les rivières, fortement chargées de boue, inondèrent la contrée comme un déluge jusqu'à une grande distance.

Au bout de quatre jours, le 12 octobre, à sept heures du soir, ces horribles phénomènes se renouvelèrent. Un tremblement de terre général fut suivi par une éruption dont on entendit le bruit pendant toute la nuit. De nouveaux torrents d'une eau boueuse chaude et chargée de limon, se précipitant vers la vallée, entraînèrent avec eux des rochers et des forêts entières, de manière que des collines furent élevées dans des parties où peu de moments auparavant il n'y avait qu'une plaine. Il fut bientôt impossible de reconnaître cette vallée, auparavant si fertile et si peuplée. Tous les habitants, sans pouvoir seulement songer à la fuite, furent enterrés sous ces limons, et l'on pense que pendant cette nuit plus de deux mille personnes ont perdu la vie dans le seul district de *Singaparna*, au N. de cette terrible montagne. Dans cette seconde éruption, plus violente que la première, de gros blocs de basalte furent lancés à 7 milles (11 kilomètres) de distance du volcan. Il est dit dans une des relations que la forme de la montagne se trouva totalement changée : que ses sommets s'étaient écroulés, qu'elle était tronquée, et que l'un de ses flancs, qui avait été couvert d'arbres, était devenu un vaste abîme de forme demi-circulaire. Cette cavité se trouvait environ à moitié chemin, entre les sommets et la plaine, et était entourée de rochers escarpés, qu'on disait avoir été entassés dans un ordre nouveau pendant l'é-

ruption. On assure que de nouvelles collines et de nouvelles vallées furent formées. Les rivières Banjarang et Wulan changèrent de cours dans l'espace d'une nuit (celle du 12 octobre). Le rapport officiel porte que 114 villages furent détruits, et que plus de 4,000 personnes périrent (1).

Après cette éruption, le volcan resta en mouvement; il fumait encore le 12 novembre, et lançait en l'air des nuées de vapeurs. Peu de jours après l'éruption, le peintre hollandais Payen se détermina à partir de la ville de Bndang pour le volcan qu'il a décrit dans une lettre à M. Reinwardts. Il trouva que la quantité de cendres diminuait à mesure qu'il approchait de la base de la montagne; cependant il ne put l'atteindre : le limon et des crevasses nombreuses l'en empêchèrent, et les mêmes difficultés se représentèrent pendant tout le mois de novembre (Boon Mesch, p. 47). Il parle de changements que la forme de la montagne présentait après le 12 octobre, mais il ne décrit pas le goufre demi-circulaire ouvert dans son flanc.

M. Blume, botaniste, a examiné sur les lieux le limon dévastateur vomi par le volcan. Il était d'une couleur brune jaunâtre, terreux, friable, exhalait une odeur sulfureuse et brûlait sans difficulté. Il n'y a point de doute qu'il ne fût en grande partie composé de soufre. Les Malais nomment ce limon *buah*, c'est-à-dire pâte, et il est évident, dit M. de Buch, que cette matière est analogue à la *moja* de Quito, qui, en 1798, couvrit la malheureuse ville de Riobamba.

Il semble donc, ajoute cet illustre géologue, que l'effet de l'action volcanique dans l'île de Java serait de développer en même temps une immense quantité de vapeurs sulfureuses et aqueuses, qui s'emparent de la roche dont l'intérieur de la montagne est composé, la décomposent jusqu'à en faire une pâte, un *buah*, et enfin, quand la masse solide est détruite de manière à ne pouvoir plus opposer assez de résistance, les vapeurs se font jour au dehors, et la matière fluide s'échappe par les crevasses, non comme un courant de laves visqueuses, mais comme des torrents d'eau qui jaillissent par chaque petite ouverture qu'elles peuvent atteindre. On ne peut donc regarder toutes ces eaux que comme des *eaux distillées*, et il faut croire qu'il en est de même de celles de ces deux rivières, qui sortent du cratère du volcan d'Idjen; car ce

(1) Van der Boon Mesch, *De incendiis montium Javæ*, etc. Lug. Bat., 1826, et rapport officiel du président baron Van der Capellen.

cratère se trouve presque à la cime d'une montagne isolée, qui n'est dominée par aucune autre montagne avoisinante.

Je remarquerai en passant cette circonstance que le torrent, gonflé par les eaux chaudes provenant de l'éruption, flottait un grand nombre de cadavres d'hommes, de tigres, de cerfs, de *rhinocéros*. D'après M. Lyell (1), la première indication que les habitants de Bndang reçurent de cette calamité, le 8 octobre, fut la nouvelle que la rivière Wulan entraînait à la mer des corps humains et des cadavres de cerfs, de rhinocéros, de tigres et d'autres animaux. Si Java avait renfermé des *éléphants*, comme Ceylan, le courant en aurait flotté également. Ces cadavres ont été portés jusqu'à la mer; seulement, l'eau étant chaude, si la mer avait été à plusieurs centaines de lieues de distance et si le courant avait mis plusieurs jours à l'atteindre, ils y seraient arrivés en putréfaction. Mais si la même quantité de vapeur, accompagnée de sels et d'acides, avait rencontré à la surface du sol une quantité surabondante de neige, elle aurait donné naissance à un courant quinze fois plus considérable, à une température inférieure à zéro. Ce courant aurait produit des dégâts incomparablement plus grands, se serait chargé de beaucoup plus de débris terreux et pierreux, aurait flotté les cadavres d'un beaucoup plus grand nombre d'animaux, et on aurait vu une *seconde édition du transport des éléphants et des rhinocéros de l'Asie centrale dans la mer Glaciale.*

On voit par là, une fois de plus, combien la discussion des points les plus épineux de la question des phénomènes erratiques se lie naturellement à la considération des effets les mieux constatés des émanations volcaniques.

Tous ces effets tendent à prouver qu'il peut se dégager, du sein des laboratoires intérieurs du globe terrestre, des quantités immenses de vapeur d'eau, et peut-être même d'eau chaude et généralement salée. L'embarras n'est donc pas d'imaginer comment des neiges auront pu fondre, soit une fois, soit à plusieurs reprises, suivant l'hypothèse qu'on adoptera sur l'unité ou la pluralité des courants diluviens. Le *point délicat*, comme je le disais tout à l'heure, est de bien expliquer comment des neiges ont pu s'accumuler sur les montagnes en quantité suffisante.

Nous entendons parler dès l'enfance des neiges qui couvrent les hautes montagnes, des vastes calottes de glace qui environnent les pôles. Ces régions glacées nous paraissent tellement le domaine de la neige que nous ne réfléchissons pas toujours assez au contraste

(1) Lyell, *Principles of geology*, 6e édit., t. III, p. 263.

singulier que présente un globe, incandescent à l'intérieur, dont un simple puits artésien fait jaillir une source thermale, et dont la surface est en partie couverte de neige; sur ce qu'un pareil état de choses offre en lui-même de dangereux, par la disproportion immense qui existe entre la quantité de la chaleur intérieure et celle qui serait nécessaire pour fondre toutes ces neiges; sur ce qu'il y a d'improbable à ce que l'équilibre merveilleux qui permet à ces neiges de subsister pendant les périodes de tranquillité ne soit pas dérangé quand l'écorce solide et froide du globe terrestre vient à être violemment brisée et agitée.

Il me paraît très difficile de concevoir que des glaciers se maintiennent d'une manière permanente sur les parties de la surface du globe qui, dans ses révolutions, deviennent le théâtre spécial des phénomènes de soulèvement. On propose d'admettre que, pendant les premiers siècles qui ont suivi l'éruption des ophites, des glaciers immenses se seraient étendus dans les vallées des Alpes et des Pyrénées: une des nombreuses difficultés qui me paraissent s'opposer à ce que cette hypothèse soit admise, consiste en ce que, pendant cette période peu stable encore et sans doute fertile en tremblements de terre, il a dû se dégager souvent du sol même des montagnes, des bouffées de vapeur capables de fondre les glaces et les neiges et de les faire couler en torrents. Dans ces montagnes, on ne saurait trop le rappeler, il existe encore des eaux thermales. La source d'Ax (Ariége) a encore une tempéra- de 82°,5; celle des vapeurs qui se dégagent des geysers n'est que de 124°,24. Qu'on imagine ce qui serait arrivé si toute l'eau sortie en 1793 du volcan d'Unsen, en 1822 de celui de *Galung-Gung*, était sortie à l'état de vapeur (comme cela a lieu le plus souvent), et si cette vapeur avait rencontré sur les montagnes autant de neige qu'elle peut en réduire à l'état de courant, c'est-à-dire un poids de neige égal à douze ou quinze fois le sien! Or, qui pourrait soutenir que la réalisation d'une pareille rencontre, à l'époque du soulèvement des ophites, doive être regardée comme impossible, ou même comme improbable? Et s'il est probable qu'un phénomène pareil a dû se réaliser, où aller chercher les traces qu'il n'a pu manquer de laisser sur la surface du globe, si ce n'est dans le terrain erratique?

Au point de vue de la géographie botanique, on a ingénieusement comparé le globe terrestre à deux montagnes couvertes de neige, accolées base à base; au point de vue géologique et particulièrement au point de vue spécial qui nous occupe, on peut le comparer de même à deux volcans couverts de neige, accolés base

à base. L'analogie serait incomplète si les calottes de glace de ses pôles n'étaient pas entrées quelquefois en fusion, comme celle du Coto-Paxi, et n'avaient pas produit des débâcles proportionnées à leur grandeur.

L'hypothèse que j'ai soumise en 1830 à l'appréciation des géologues a pour objet de faire entrer en ligne de compte, dans l'explication des phénomènes géologiques, la réalisation possible de ce danger de la fusion subite des neiges, qui menace réellement tous les jours les habitants du globe terrestre, et de faire entrevoir aux naissances des vallées, où les phénomènes diluviens ont laissé les traces les plus sensibles de leur passage, des causes analogues à celles qui produisent de nos jours les inondations les plus redoutables. S'il y a de la hardiesse dans mon hypothèse, ce que je suis bien loin de nier, peut-être n'y en aurait-il pas moins à vouloir limiter la puissance que la nature a pu déployer par cette voie dans ses moments de perturbation (1).

Au reste, pour qu'on n'attribue pas à l'hypothèse dont il s'agit plus de hardiesse qu'elle n'en a réellement, je demande la permission d'en reproduire ici textuellement l'énoncé primitif. Je le transcris avec toutes les fautes que le progrès de la science a déjà corrigées, tel qu'il a été imprimé au printemps de 1830 dans les *Annales des sciences naturelles*, t. XIX, p. 213. Il constitue une note distincte qui, dans la table des matières (p. 239), est indiquée sous le titre suivant, qu'on n'accusera probablement pas d'être trop systématique :

« *Incertitude de la cause des phénomènes diluviens.*

» Les effets des courants diluviens sont beaucoup mieux connus » que leur origine. On ne doit pas perdre de vue qu'au moment de la » convulsion qui a donné son relief actuel à la chaîne principale des » Alpes (du Valais en Autriche), la contrée au milieu de laquelle » elle parut présentait déjà de très hautes montagnes, puisque le » système des Alpes occidentales existait déjà depuis longtemps, et » n'était baigné, au moins dans une grande partie de ses con- » tours, que par les eaux de quelques lacs d'eau douce, élevés

---

(1) Lorsqu'on raisonne sur les phénomènes qui pourraient avoir été produits par des vapeurs dégagées du sein de la terre, on ne doit pas totalement perdre de vue les raisons d'après lesquelles des astronomes de premier ordre ont regardé comme possible que les neuf petites planètes, Cérès, Pallas, Junon, Vesta, Astrée, Hébé, Iris, Flore, Métis, ne soient que les débris d'une planète plus grosse qui aurait fait explosion; des *débris erratiques!*

» eux-mêmes au-dessus des mers d'une quantité plus ou moins » grande. Les neiges dont ces hautes montagnes ne pouvaient man- » quer d'être couvertes ont dû être fondues en un instant (1) par » les gaz, auxquels est attribuée l'origine des dolomies et des » gypses, et les eaux provenant de leur fusion ont sans doute con- » couru, et peut-être pour beaucoup, à la production des courants » diluviens des Alpes.

» Les Alpes scandinaves donneraient lieu à une remarque du » même genre.

» La chaîne des Pyrénées, au contraire, si remarquable par la » simplicité et, si l'on peut s'exprimer ainsi, par l'unité de sa » structure, semble s'être élevée *en une seule fois* (2) du milieu de » dépôts horizontaux, et, selon toute probabilité, du fond même » des mers où s'étaient formés les derniers d'entre eux; aussi ne » présente-t-elle pas, au moins sous une forme bien remarquable, » le phénomène des grandes pierres transportées (3). M. de Char- » pentier ne l'y mentionne pas; MM. Dufrénoy et de Billy ne » l'y ont jamais remarqué. Le témoignage d'aussi habiles ob- » servateurs me fait supposer que les blocs du Pic du midi d'Os- » san, remarqués par Palassou, sont un phénomène purement » local, et probablement l'effet d'un éboulement (4).

» Tout porte à croire que le phénomène des grandes pierres » transportées n'existait pas non plus dans les Alpes occidentales,

---

(1) Un *instant géologique* n'est pas une période de temps rigoureusement définie; une *seconde*, une *heure*, un *jour*, sont des durées qu'on peut également sous-entendre dans l'emploi de cette expression sans en forcer le sens habituel.

(2) C'était une erreur : l'unité de la structure générale des Pyrénées n'empêche pas qu'on ne puisse y distinguer six à sept systèmes de dilocations, ainsi que je l'ai reconnu avec M. Dufrénoy, et comme M. Durocher l'a fait voir avec plus de détail encore.

(3) Cette expression fait allusion au Mémoire de M. J.-A. Deluc (neveu), *Sur le phénomène des grandes pierres primitives alpines distribuées par groupes dans le bassin du lac de Genève et dans les vallées de l'Arve* (1827) : mémoire qui, après les mémorables écrits de Saussure et de M. de Buch, me paraît un des plus intéressants qui aient été publiés sur ces matières avant le *travail classique* de M. de Charpentier sur le *terrain erratique du bassin du Rhône*. Je suis étonné de ne pas le voir cité plus souvent.

(4) En visitant les Pyrénées l'année suivante (1831) avec M. Dufrénoy, j'ai reconnu mon erreur à cet égard, sur laquelle je me suis empressé de revenir dans mes publications subséquentes, et que M. de Charpentier et M. de Collegno ont depuis complétement rectifiée.

» avant le redressement des couches de la chaîne principale des » Alpes.

» Si la cause que j'ai indiquée précédemment a eu une grande » part à la production des courants diluviens, le célèbre torrent » de la vallée de Bagnes, produit par la rupture subite de la digue » de glace qui retenait un très petit lac, a dû en présenter, quoi- » que en petit, une image assez fidèle, et d'habiles observateurs » ont en effet été frappés de l'analogie des effets qu'il a produits » avec ceux des courants diluviens.

» On peut encore déduire de ce qui précède que, si les Pyrénées » ont commencé à se couvrir de neige pendant le dépôt de l'argile » plastique et du calcaire grossier, cette neige n'a été fondue subi- » tement dans aucune des révolutions de la surface du globe arri- » vées depuis lors (1). On ne pourrait peut-être pas dire que les » Vosges aient de même été préservées, depuis leur dernière » convulsion, de fontes de neige instantanées. On y observe en » divers points quelque chose d'analogue au phénomène des » pierres transportées (2).

» Si on objectait à ce qui précède que le peu de permanence » de la neige et de la glace les fait sortir du domaine de la géolo-

---

(1) C'était une erreur : il y a eu depuis lors le dégel ophitique. Je doute d'ailleurs aujourd'hui qu'à l'époque du calcaire grossier des montagnes de la hauteur des Pyrénées, situées sous la latitude des Pyrénées, aient dû être couvertes de neiges perpétuelles.

(2) Des observations récentes et bien connues ont, en effet, montré que les phénomènes erratiques sont très développés dans les Vosges; mais plus ils y sont développés et plus il est remarquable que le Jura, les montagnes de la Grande-Chartreuse, celles du Vercors, du Devoluy, le Mont-Ventoux, et en général toutes nos grandes montagnes calcaires, quoique plus élevées que les Vosges, ne présentent que de très faibles traces de phénomènes erratiques qui leur soient propres. La raison pour laquelle, à hauteur égale, les traces des *phénomènes erratiques* sont beaucoup plus développées dans les montagnes primitives que dans les autres, tient probablement de très près à celle qui fait que les *tremblements de terre* et les *sources thermales* sont beaucoup plus fréquents dans les contrées composées de roches éruptives et dans celles que ces roches ont disloquées en se soulevant. Le Jura, privé de tout pointement de roches éruptives, remarquablement pauvre en sources thermales, très rarement secoué par les tremblements de terre, m'a frappé depuis longues années par le contraste qu'il offre avec les parties des Vosges les plus voisines de Plombières, de Luxeuil, de Sultzmatt, sous le rapport des phénomènes erratiques.

Si des difficultés insurmontables ne me paraissaient pas s'opposer à l'admission du système glacial, il me serait facile d'y rattacher

» gie, je rappellerais que les glaces voisines des embouchures des » fleuves Léna et Viloui n'ont pas fondu depuis le redressement » des couches de la chaîne principale des Alpes, époque à laquelle » ont cessé de vivre les espèces d'éléphants et de rhinocéros, dont » un certain nombre d'individus se sont conservés dans ces glaces » avec leur poil, leur peau et leur chair encore mangeable.

» L'état de conservation presque parfait de ces énormes cada- » vres serait une raison de présumer que la catastrophe qui les a » transportés jusqu'à leur position actuelle a eu lieu pendant » l'hiver de notre hémisphère boréal, ce qui supposerait beau- » coup plus de force encore à la cause dont j'ai essayé de faire » admettre au moins le concours dans la production des courants » diluviens. »

En reproduisant ici cette note, je rappellerai que le même volume des *Annales des sciences naturelles* renferme, de la page 60 à la page 110, une *Description du second terrain de transport des vallées de la Durance, du Rhône et de l'Isère* (diluvium de quelques géologues), dans laquelle je crois avoir répondu d'avance à quelques unes des objections qu'on a élevées, dans ces derniers temps, contre la théorie des courants. Je crois inutile de reproduire ici mes arguments, non plus que ceux que M. de Collegno a consignés dans son mémoire sur les terrains diluviens des Pyrénées, inséré, en 1843, dans les *Annales des sciences géologiques*, publiées par M. Rivière. J'aurai peut-être l'occasion d'y revenir une autre fois.

Avant de terminer cette réplique, je crois devoir consigner ici, afin qu'on puisse la comparer plus facilement à la mienne, l'hypothèse par laquelle sir James Hall a proposé d'expliquer le phénomène erratique des Alpes.

« ..... Il est évident, dit l'illustre auteur des expériences sur la » fusion du calcaire en vases clos, qu'une vague se répandant sur » ces hautes vallées alpines, en été, flotterait et entraînerait » toute la glace qui y existe sous forme de glaciers et qui est ac-

---

mon hypothèse. Il me suffirait de supposer que pendant l'existence de ces immenses glaciers qui auraient couvert les Alpes, les Pyrénées, les Vosges, le Morvan, l'Ardenne (*a*), seraient survenus des soulèvements auxquels remonterait l'origine des dolomies, des gypses, des sources salines et thermales.

(*a*) J'ai déjà mentionné ailleurs les moraines de Pont-Aubert et de Spa. Elles me paraissent exactement comparables aux prétendues moraines des Vosges. (*Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences*, t. XIV, p. 98.)

» cumulée dans les vallées plus élevées, et avec la glace tous les » blocs de pierre qui y sont enveloppés ou qui y sont attachés de » quelque manière que ce soit. Le courant chargé de ce fardeau » s'échapperait par toutes les ouvertures et coulerait en particulier » par ces dépressions qui actuellement, ainsi que nous l'avons dit, » permettent de voir le sommet neigeux du Mont-Blanc de cer- » tains points de la face du Jura où les blocs abondent.

» On peut maintenant rendre raison de l'existence des masses » énormes, déjà mentionnées, qui se trouvent près de Genève et » au coteau de Boisy, et le même système s'appliquera aussi aux » blocs des rivages de la mer Baltique, qui peuvent avoir été por- » tés à leur place actuelle, non par une position permanente et » tranquille de l'Océan, variant par degrés très lents, comme » Wrede l'a allégué, mais par une vague diluvienne subite, dé- » ferlant sur quelque district situé, soit à un niveau assez élevé, » soit assez près du pôle pour être le siége de glaciers (1). »

J'ignore pourquoi sir James Hall a supposé que la vague diluvienne, à laquelle il a recours, est venue battre les Alpes *en été*. S'il avait supposé que cette vague les eût battues *en hiver*, on pourrait combiner l'hypothèse de sir James Hall et la mienne.

En discutant les effets possibles d'une fonte subite des neiges accumulées d'une manière extraordinaire dans des circonstances anormales, je n'entends nullement faire abstraction de ceux qu'a pu produire le déplacement subit des eaux répandues sur la surface du

---

(1) Sir James Hall, *On the Revolutions of the Earth surface.* (*Edinburgh Transactions*, t. VII, p. 59.)

« . . . . . It is obvious, then, that a wave washing, over these » high alpine valleys in summer, would floot and carry off all the ice » in the glaciers, and accumulated in the higher valleys, and, along » with the ice, all the blocks of stone imbedded in it, or attached to » it in any way. The stream with this load, would find its way through » every opering, and would in a particular manner flow through » those depressions which at this day, as we have said, afford a view » of the Snowy summit of Mont-Blanc, from certain places on the face » of Jura were these blocks abound.

» The enormous masses already mentionned, which are found near » Geneve and ad the coteau de Boisy may now be accounted for; and » the same system will apply also to the blocks upon the Baltic, wich » may have been brought to their present place, not by a permanent » and steady position of the Ocean, varying by slow degrees, as has » been alleged by M. Wrede, but by a sudden diluvian wave washing » over some district situated either at a sufficiently high level, or near » enough to the pole, to be the seat of glaciers. »

globe. J'ai indiqué ailleurs (1) le concours probable du déversement vers le N.-O. des eaux du grand lac de la Bresse, dans la production des phénomènes diluviens qui s'observent aux environs de Paris. L'absence d'ossements cétacés dans les dépôts erratiques, qui contiennent tant d'ossements d'éléphants, devrait sans doute, comme l'a judicieusement observé M. Fournet, rendre très réservé dans l'emploi de l'hypothèse des vagues diluviennes; mais cette absence est loin d'être constatée d'une manière universelle. Les dents d'éléphants, de rhinocéros, d'hippopotames sont faciles à reconnaître, mais les grands ossements trouvés dans les terrains diluviens ne sont pas toujours aussi faciles à déterminer, et beaucoup de ces ossements ont peut-être été classés un peu légèrement, à cause de leur grandeur seulement et de leur réunion avec des dents d'éléphant, parmi les ossements des grands quadrupèdes. D'ailleurs, l'objection si spécieuse en apparence qu'on tirerait de l'absence d'ossement de cétacés n'aurait une importance réelle qu'autant qu'on supposerait que la mer qui a produit le courant était une *mer peu profonde et peuplée jusqu'au fond.* Le fond d'une mer profonde comme l'Océan loin des côtes, ou même comme la Méditerranée, ne renferme guère plus de cétacés que la Sibérie ne renferme aujourd'hui d'éléphants et de rhinocéros : la surface de la mer loin des côtes en renferme elle-même très peu. Si donc le fond d'un océan très profond avait été soulevé de manière que ses eaux dussent ruisseler sur les terres continentales, la plus grande partie de ses eaux aurait pu y ruisseler sans y entraîner de cétacés. Le fond du courant marin, qui aurait agi le plus directement sur les continents, aurait été formé le plus souvent des eaux froides et désertes du fond de la mer, qui sont plus denses que tout le reste. Les carapaces des infusoires qui existent peut-être jusque dans le fond des mers les plus profondes, ont-elles été suffisamment recherchées dans les dépôts erratiques? Les animaux qui pullulent quelquefois dans des régions de la mer très éloignées des côtes, ne seraient guère propres à laisser des débris reconnaissables dans de pareils terrains. La partie des eaux de la mer, qui est habituellement peuplée d'animaux propres à y laisser des débris distincts, est probablement bien loin de former un dixième de la masse totale. Il y a donc bien des chances pour qu'un dépôt diluvien, formé par une irruption des eaux marines, ne renferme pas de

(1) Traduction française du *Manuel géologique* de M. de La Bèche, p. 655; — et *Traité de géognosie* de M. Daubuisson, continué par M. Amédée Burat, t. III, p. 359.

débris marins. J'ai supposé que les eaux du lac de la Bresse ont concouru à la formation du dépôt erratique de la vallée de la Seine. Au moment de son déversement vers le N.-O., ce lac, réduit à une faible profondeur par les dépôts qui s'y étaient accumulés, pouvait être peuplé jusqu'au fond, et dans les parties les moins grossières du terrain erratique des environs de Paris on rencontre un grand nombre de coquilles lacustres.

J'ajouterai encore, d'une part, que les eaux résultant d'une fonte subite des neiges auraient flotté les parties non encore fondues des glaciers avec tous leurs blocs, tout aussi bien que les eaux d'une vague marine diluvienne; et, de l'autre, que les courants produits par une vague marine diluvienne se seraient changés d'eux-mêmes en courants de boue tout aussi bien que ceux qui seraient résultés d'une fonte subite de neiges.

Étant donnée une quantité d'eau placée à la naissance d'un sillon ou d'une fente susceptibles de devenir une vallée, les effets qu'elle produira seront toujours les mêmes, quelle que soit son origine, et ces effets sont faciles, sinon à calculer, du moins à prévoir d'une manière générale.

Le point délicat de la question, comme je l'ai dit précédemment est de savoir comment une quantité d'eau suffisante a pu se trouver rassemblée aux points de départ des courants diluviens, de ceux qui ont parcouru les plaines aussi bien que de ceux qui ont sillonné les montagnes.

RÉUNION EXTRAORDINAIRE

A ÉPINAL (VOSGES) (1),

Du 10 au 23 septembre 1847.

Séance du 10 *septembre* 1847.

Les membres présents se sont réunis à midi dans l'une des salles de l'Hôtel-de-Ville, que M. le maire d'Epinal a bien voulu mettre à la disposition de la Société géologique.

Les membres de la Société qui ont assisté à la réunion sont :

MM.

Acosta,
Bauja,
Billy (de),
Blanchet,
Clément-Mullet,
Collomb,
Cornuel,
Delesse,
Desoudin,
Dolfus-Ausset,
Four,
Gastaldi,
Guibal,
Hogard,
Jourdan,

MM.

Lesaing,
Levallois,
Lory,
Maire,
Martins (Charles),
Mérian (Pierre),
Michelin (Ardouin),
Parandier,
Puton (Ernest),
Renoir.
Rouville (Paul de),
Royer (Ernest),
Vaultrin,
Zuber (Jean),

Un nombreux auditoire a constamment assisté aux séances; on peut citer plus particulièrement les personnes ci-après, dont plusieurs d'entre elles ont pris part aux travaux de la Société

(1) Différentes circonstances et des retards involontaires apportés à l'impression de ce compte-rendu ont mis le conseil de la Société géologique dans la nécessité de supprimer une grande partie des nombreuses et intéressantes communications qui ont été faites à la réunion extraordinaire d'Épinal; du reste, un certain nombre d'entre elles avaient été publiées depuis l'époque de leur présentation.

en s'unissant à ses membres dans leurs courses et leurs explorations scientifiques :

MM.	MM.	MM.	MM.
Alexandre,	Didiergeorges.	Leroy,	Petitmongin,
Ballon,	Dolfus (Gustave),	Mareine,	Pion,
Berher,	Durand (Léon),	Martinet,	Prévotel (Vict),
Biche,	Dutac,	Mathieu,	Rappin,
Bienaymé,	Gahon,	Maud'heux,	Ruaulx.
Carrière,	Grillot,	Mougeot, père,	Schimper,
Claudel,	Haxo,	Mougeot, fils,	Sonrel,
Collin,	Idoux (L'abbé),	Moynier (Eug.),	Tocquaine,
Collenne,	Jacquel (l'abbé),	Moyon (Benito),	Thoillier,
Danu,	Lahérard, fils.	Perreau,	Vancker,
Deblaye.	Laurent,	Perrey,	

La Société ouvre sa session extraordinaire sous la présidence provisoire de M. Bauja, doyen d'âge, qui, assisté de MM. Clément-Mullet et Delesse, procède à l'organisation du Bureau.

Elle nomme :

Président, M. Henri Hogard.
Vice-président, M. E. Puton.
Secretaires, MM. A. Delesse et Ed. Collomb.

MM. Hogard et Puton remercient la Société de la distinction qu'ils viennent de recevoir; ils l'assurent qu'ils feront tous leurs efforts pour qu'elle puisse visiter les points les plus intéressants de la partie méridionale des Vosges avec utilité pour la science, et dans le peu de jours qu'elle consacre ordinairement à ses sessions extraordinaires.

Dans ce but, M. le Président appelle la Société à arrêter l'itinéraire de ses excursions.

La Société décide qu'elle suivra le programme qui a été rédigé et envoyé à ses membres par MM. Hogard et Puton; elle pense, en outre, qu'il convient, pour exposer plus complétement et plus exactement les observations faites pendant ses courses, de faire deux parts dans les comptes-rendus :

1° L'une relative à la géologie des terrains stratifiés et non stratifiés aux phénomènes qui s'y rattachent.

2° L'autre relative aux phénomènes erratiques.

Le Bureau constitué, M. Colenne, maire de la ville d'Epinal, assisté de ses adjoints, exprime à la Société combien la ville d'Epinal attache de prix à sa présence dans les Vosges, et la remercie d'avoir choisi cette ville pour le lieu de sa réunion extraordinaire de 1847. Une députation de la Société d'émulation des Vosges, ayant à sa tête son vice-président et son secrétaire perpétuel, est introduite dans la salle; elle témoigne à la Société ses vives sympathies, et lui adresse ses félicitations fraternelles.

M. le Président répond à M. le maire que l'accueil que la Société reçoit à Epinal ne permet pas de douter qu'elle n'ait à se féliciter d'y avoir fixé sa session; il se rend l'organe de la reconnaissance de la Société pour la réception cordiale et hospitalière dont elle est l'objet. Il remercie la Société d'émulation des témoignages de sympathie qu'elle veut bien donner à la Société géologique, qui savait bien trouver en elle des collègues distingués et des savants voués à l'étude de toutes les sciences; il invite les membres de la Société d'émulation à assister aux séances et aux excursions de la Société géologique.

M. le Président donne lecture de l'extrait suivant de deux lettres qu'il vient de recevoir.

M. Laurent, conservateur du Musée départemental, informe la Société que les galeries du Musée seront constamment ouvertes aux membres de la Société géologique, et que des dispositions sont prises pour leur faciliter l'examen des collections qui y sont réunies.

M. Collin, directeur de la marbrerie d'Épinal, fait hommage à la Société d'une collection des marbres des Vosges qu'il exploite dans ses usines, et il l'invite à visiter ses établissements.

La Société décide qu'elle visitera le Musée départemental après la séance. Elle remercie M. Collin de la collection des marbres vosgiens qu'il met à sa disposition; elle nomme une commission composée de MM. Clément-Mullet, Puton et Delesse, qui sera chargée de lui faire un rapport sur les établissements de M. Collin, et sur les roches qu'il exploite comme marbrier.

DONS FAITS A LA SOCIÉTÉ.

La Société reçoit :

De la part de M. Dufrénoy, *Mémoire sur plusieurs gisements de pierres meulières des environs de Paris.*

De la part de M. J.-F. Soleirol, *Mémoire sur les carrières des environs de Metz, qui fournissent la pierre à chaux hydraulique.*

De la part de M. Hœninghaus, une lettre relative à la découverte qu'il a faite, dans un *Cyatophyllum* du Psammite de l'Eifel, d'une Trilobite à laquelle il a donné le nom de *Harpes reflexus.*

COMMUNICATIONS.

M. Delesse donne lecture de la notice suivante :

Recherches sur les verres provenant de la fusion des roches, par M. Delesse, professeur de géologie à la Faculté des sciences de Besançon.

Les roches auxquelles on attribue généralement une origine ignée peuvent, lorsqu'elles sont soumises à une chaleur convenable, être amenées à l'état de fusion; quand ensuite elles se refroidissent brusquement, elles donnent lieu à des *verres* dont l'étude fait l'objet de ce mémoire.

1.—*Mode d'expérience.*—La température à laquelle j'ai soumis les roches que j'ai examinées est celle des fours de verreries ordinaires chauffés au bois, et toutes les expériences que j'ai entreprises depuis environ deux années ont été faites chez M. Grezely, à la verrerie de la Saulnaire.

La roche était pulvérisée, tamisée, puis on remplissait aux trois quarts un bon creuset de Hesse; le volume de ce creuset était, au plus, d'un décimètre cube; il était placé sur un fromage et muni d'un couvercle non luté destiné à empêcher, autant que possible, l'introduction des vapeurs alcalines; il était ensuite porté dans un four à dessécher, chauffé au rouge sombre, et cette précaution était surtout très nécessaire, quand la roche était en fragments, car autrement elle se serait brisée en éclats qui auraient été projetés de tous côtés. Au bout de quelque temps le creuset était introduit dans l'intérieur du four de verrerie, et près de la porte de charge-

ment afin qu'il ne supportât pas une chaleur trop forte; alors, ou bien on le laissait pendant 18 heures, après quoi on le retirait, ce qui donnait lieu à un refroidissement *rapide;* ou bien on attendait une mise hors feu du four, pendant laquelle on diminue graduellement le combustible mis sur la grille, et on avait ainsi un refroidissement *lent*, dont la durée était d'environ une huitaine de jours; du reste, lorsqu'on retirait le creuset au bout de ce temps, la température était alors assez basse pour que la matière fût entièrement solidifiée.

2. — *Observations générales.* — Que le refroidissement de la roche soit rapide ou lent, il importe de présenter quelques observations générales relatives à la fusion.

La température du four de verrerie à laquelle la roche était soumise était à peu près celle de l'orthose qui fondait en un verre bulleux.

Au moment où la roche entre en fusion, il s'y forme un bouillonnement plus ou moins considérable, et souvent même il y a un boursouflement qui projetterait le couvercle si on remplissait presque complétement le creuset. Ce boursouflement, qui a surtout lieu au commencement de l'opération, ne saurait être attribué à la perte de l'eau ou de l'acide carbonique d'un peu de carbonate; car leur dégagement a eu lieu avant que la roche entrât en fusion; peut-être est-il dû à un dégagement de gaz oxygène produit par des réactions chimiques ou par des alternances d'oxydation ou de désoxydation; ce qui aurait lieu, par exemple, si l'oxyde de fer ou de manganèse, transformé en peroxyde à la surface du bain, repassait à l'état de protoxyde qui est une base ayant plus d'affinité pour la silice, en pénétrant dans l'intérieur du bain par suite des mouvemements de la masse liquide; ce serait alors une réaction analogue à celle que donne au chalumeau la perle de phosphate (1), de soude et de manganèse quand on la maintient dans la flamme oxydante.

Du reste, dans le verre de presque toutes les roches, il y a généralement des bulles; ces bulles peuvent être attribuées soit au bouillonnement, duquel il vient d'être question, soit plutôt à ce que dans certaines roches difficilement fusibles, telles que les roches granitoïdes, la matière ayant été seulement amenée à l'état pâteux, toutes ses parties ne sont pas réunies d'une manière parfaite, soit enfin, dans le cas le plus général, à un refroidissement de la surface du

(1) Berzelius, *de l'Emploi du Chalumeau.*

bain, plus rapide que le refroidissement de la masse intérieure (1). Elles s'observent aussi dans les métaux comme le plomb et même dans ceux qui, comme la fonte et le bronze, augmentent de volume en se solidifiant ; or il résulte des observations de M. Bischoff (2), que quand une roche passe de l'état de fluidité ignée à l'état solide, elle diminue de volume : par conséquent il doit *à fortiori* se former des bulles dans les verres provenant de la fusion des roches.

Il est facile de reconnaître d'ailleurs, par l'examen du creuset retiré du four, que malgré le couvercle, une oxydation s'opère à la surface de la roche fondue ; on remarque en effet qu'elle est recouverte d'une couche brun marron, de silicate de peroxyde de fer dont l'épaisseur est généralement très petite. C'est ce qui a lieu aussi pour les parois du creuset qui sont soumises directement à l'action de la flamme, tandis qu'à l'intérieur on a une couleur vert de bouteille plus ou moins foncée, et qui tire sur le noir dans les roches qui contiennent une proportion notable de fer.

Dans les circonstances que j'ai indiquées, la roche peut être maintenue en fusion pendant plusieurs jours sans que le creuset soit altéré d'une manière notable ; il n'est pas déformé et les parois ne sont pas corrodées. Il faut cependant faire exception pour les roches riches en mica, ainsi que pour les roches volcaniques qui corrodent fortement les creusets et peuvent les percer ; c'est même un fait sur lequel il importe d'insister, car la facilité avec laquelle les roches volcaniques entrent en fusion et dissolvent ce qui les entoure permet d'expliquer la différence de composition que présentent quelquefois les laves de volcans modernes, et aussi de rendre compte de la position de ces volcans dans les grandes chaînes de montagnes granitiques, c'est-à-dire sur les points du globe où l'épaisseur de l'écorce paraît être la plus faible, et où elle peut avoir été successivement amincie par corrosion, jusqu'à ce qu'il se forme un orifice.

Le plus généralement cependant, l'action de la roche fondue sur le creuset ne s'étend pas à un millimètre au-delà de la surface de contact ; on peut y observer en effet une petite bande blanchâtre qui est *porcelainisée* et qui se détache assez bien sur le fond jaune clair du creuset.

Il résulte donc de ce qui précède, qu'abstraction faite de l'eau et des substances volatiles qui ont pu se dégager, la composition

---

(1) Leblanc, *Bulletin de la Soc. géol.*, tom. XII, p. 140 ; et Frapolli, *Bulletin de* 1847.

(2) Bischoff, *Neues, Jahrbuch de Leonhardt*, 1841, p. 565.

moyenne de la roche fondue sera généralement, à très peu près, celle qu'on aurait trouvée dans la roche elle-même, et c'est en effet ce que j'ai pu vérifier plusieurs fois par des analyses comparatives; par conséquent aussi, dans la comparaison des densités de la roche avant et après la fusion, on pourra négliger l'erreur qui résulte de la corrosion des parois du creuset.

Pott, Gellert, d'Arcet et de Saussure, ont fait les premières recherches sur la fusion des roches et des minéraux; Gerhard (1781) et Klaproth (1), qui s'occupèrent ensuite du même sujet, se sont servis de creusets de charbon ou de brasque pour éviter les inconvénients du creuset de terre; mais, comme je viens de le dire, ces inconvénients ne sont généralement pas très grands, et d'ailleurs après la fonte dans un creuset brasqué à la température de l'opération, la roche a perdu son eau, son fer, son manganèse et même son titane; par conséquent le verre qu'on obtient ne permet plus d'établir avec elle aucune comparaison sous le rapport des propriétés physiques ou chimiques; néanmoins j'ai fait des essais de ce genre sur un assez grand nombre de roches; j'ai obtenu ainsi des verres blancs, grisâtres ou d'un vert peu foncé, et ils étaient presque toujours accompagnés par un petit culot, ou tout au moins par des grenailles de fonte qui adhéraient à la partie extérieure de la masse fondue; et en outre ces verres étaient plus bulleux et moins fusibles que ceux qu'on obtenait dans le creuset non brasqué.

3. — *Verres.* — Ce qui précède étant établi, on peut se proposer l'étude des propriétés des *verres* provenant de la fusion des diverses roches; c'est ce qui fait plus spécialement l'objet de ce Mémoire.

4. — *Dureté.* — En essayant les duretés de ces verres, j'ai d'abord constaté qu'elles sont moins différentes qu'on ne serait tenté de le croire d'après leurs grandes différences de composition. Elles sont du reste assez grandes, ce qui tient peut-être à une espèce de trempe produite par le refroidissement brusque de la roche.

Les verres qui proviennent des granites, des porphyres quartzifères, etc., ou des roches granitoïdes, ont une dureté inférieure ou égale à celle du quartz, soit environ de 7

Le verre de l'orthose a une dureté un peu inférieure à celle de l'adulaire ou à 6

Les verres des porphyres, des diorites, etc., ont de même une dureté égale ou inférieure à 6

Enfin pour ceux des euphotides, des basaltes, des laves mo-

(1) Klaproth, *Beiträge*, etc.

dernes, des minettes, etc., elle est inférieure à celle de la chaux phosphatée ou à 5

La dureté du verre est donc généralement d'autant plus grande, que la roche qui la produit est plus riche en silice.

Faisons connaître maintenant les autres propriétés de ces verres et comparons leurs densités à celles des roches qui les ont fournis.

5. — *Densité.* — Dans ses recherches sur l'action exercée par le feu sur les roches, de Saussure avait observé qu'elles subissent une diminution de densité par la fusion. Magnus, en 1831, avait remarqué que les verres provenant de la fusion du grenat et de l'idocrase ont une densité moindre que celle de ces minéraux : MM. A. Brongniart (1), G. Rose (2), avaient constaté aussi que la même relation existait entre les densités de l'orthose et de son verre, ainsi qu'entre celles du dégourdi et de la porcelaine ; par de nombreuses déterminations de densité, MM. A. Laurent, Malagutti et Salvetat ont établi que la densité de la porcelaine diminuait d'autant plus qu'elle avait été chauffée à une température plus élevée, résultat qui devait paraître d'autant plus surprenant que la porcelaine se contracte par la chaleur. Depuis, M. Bischoff, mais surtout M. Charles Deville, ont fait une série d'expériences précises s'appliquant à diverses substances minérales ; dans ce travail, j'ai cherché moi-même à multiplier et à étendre ces recherches (3), en opérant sur les principales roches, et plus particulièrement sur celles que les géologues regardent en général comme étant d'origine ignée.

Pour prendre les densités, j'ai employé les flacons desquels on se sert ordinairement en minéralogie, et j'ai opéré, soit avant, soit après la fusion, sur la matière réduite en petits fragments ; j'ai eu soin surtout de n'opérer, autant que possible, que sur les parties du verre exemptes de bulles, et quand le verre était partout bulleux, il était pulvérisé. J'ai chassé aussi bien que possible, l'air restant dans les pores, mais toutefois sans avoir recours à la machine pneumatique, car les corrections qui seraient résultées de son emploi sont négligeables, tant à cause de la na-

---

(1) Brongniart, *Arts céramiques*, t. Ier, p. 285.

(2) G. Rose, *Annales des mines de* 1847, 3me livraison, p. 528.

(3) Dans ces derniers temps, mon ami M. Descloiseaux s'est occupé de recherches du même genre sur un grand nombre de roches volcaniques qu'il a recueillies dans son voyage en Islande. M. Descloiseaux a, du reste, trouvé une diminution moindre dans la densité, parce que les produits qu'il a obtenus sont souvent redevenus cristallins par suite du refroidissement lent auquel ils avaient été soumis, la fusion de ses roches ayant eu lieu dans les fours à porcelaine de Sèvres.

TABLEAU faisant connaître la variation de densité des diverses roches quand elles passent de l'état cristallin à l'état vitreux.

NUMÉROS D'ORDRE.	DÉSIGNATION DE LA ROCHE.	LIEU DE PROVENANCE.	PERTE AU FEU. °/o	OBSERVATIONS SUR LE VERRE.	DENSITÉ DE LA ROCHE. d	DENSITÉ DU VERRE. d'	DIFFÉRENCE. $d-d'$	DIMINUTION DE DENSITÉ. $\frac{d-d'}{d}$
	Granites.							
1	*Granite* à grain moyen, très riche en quartz et n'ayant que quelques paillettes de mica noir.	La Roche en Berny (Côte-d'Or).	»	*Verre* d'une couleur vert de bouteille, inégalement répartie ; translucide, avec bulles inégales et beaucoup de squelettes blancs ; il a seulement été amené à l'état pâteux ; très fortement réfractaire	2,622	2,321	0,301	11,09
2	*Granite* à grain fin, riche en quartz, avec orthose blanc, andesite et mica noir	Le Tholy (Vosges).	»	— comme le précédent ; il est aussi très fortement réfractaire.	2,635	2,353	0,172	10,32
3	*Granite* à grain fin : il est recherché pour le pavé de Paris.	Vire (Calvados)	»	— noir de Jayet, non transparent, très légèrement bulleux, avec squelettes blancs ; très fortement réfractaire.	2,730	2,450	0,260	10,26
4	*Granite*. (Expérience de M. Ch. Deville).	Le bec d'Andoux.	»		2.623	2,360	0,263	10,03
5	*Granite* à petit grain : il est recherché pour le pavé de Paris.	Sainte-Honorine (Orne).	»	— idemque (3).	2,684	2,423	0,261	9,76
6	*Granite* porphyroïde à grain moyen, avec orthose rose : il est employé pour le pavé de Paris.	Flamanville (Manche).	0,26	— identique (3), seulement sa couleur est le vert bouteille ; il est translucide.	2,660	2,427	0,253	9,44
7	*Granite* à grain fin : il est recherché pour le pavé de Paris.	Saint-Brieuc (Côtes du Nord)	0,55	— identique (3).	2,751	2,496	0,255	9,27
	Leptynites.							
8	*Leptynite* blanc, légèrement jaunâtre, avec mica noir brunâtre, non régulièrement disposé ; de la goutte des fromages.	Le Tholy (Vosges).	»	— il est d'une couleur vert de bouteille, présentant un aspect bréchiforme à cause d'un très grand nombre de petits squelettes blancs qui sont en quantité plus grande que la pâte ; un peu pâteux, très fortement réfractaire	2,651	2,336	0,315	11,88
9	*Leptynite* gneisique rosé, avec lamelle de feldspath, orthose rose, quartz blanc grenu, et mica noir brunâtre, de la cascade de Miremont.	A Saint-Étienne (Vosges)	»	— idemque (3).	2,617	2,376	0,241	9,21
	Granites syénitiques.							
10	*Syénite* avec quartz, orthose fauve, andesite blanche et hornblende vert foncé.	Ballon de Servance (Haute-Saône).	0,70	— semblable à (3).	2,700	2,447	0,253	9,37
11	*Syénite* avec quartz, orthose brunâtre, andesite rouge et hornblende vert foncé.	Plain de Coravillers (Haute-Saône)	»	— semblable à (3), mais un peu plus foncé.	2,660	2,425	0,235	6,84
12	*Syénite* avec quartz, orthose brunâtre, andesite rouge et hornblende vert foncé, variété de (11).	Plain de Coravillers (Haute-Saône)	0,70	— semblable à (3).	2,643	2,478	0,165	6,24
	Porphyres granitoïdes.							
13	*Porphyre* quartzifère, à pâte blanche verdâtre, renfermant beaucoup de cristaux dodécaèdres de quartz et des cristaux peu distincts d'orthose ; il s'emploie quelquefois pour le pavé de Paris.	Montreuillon (Nièvre).	1,06	— gris verdâtre, à taches inégalement réparties qui sont de vert de bouteille ; transparent, fortement bulleux avec squelettes blancs ; très fortement réfractaire.	2,576	2,301	0,275	10,68
14	*Porphyre* granitoïde (Grüner), avec orthose, andesite et mica.	La Rochotte près Faucogney (Haute-Saône).	0,94	— semblable aux précédents ; seulement on y aperçoit à peine quelques squelettes blancs.	2,651	2,425	0,226	8,53
	Porphyres.							
15	*Porphyre* à pâte d'un brun foncé, généralement employé à la confection des mortiers.	Elfdalen (Suède).	»	— gris noirâtre, très bulleux, réfractaire.	2,623	2,349	0,274	10,44
16	*Pétrosilex* gris brunâtre, en bandes de quelques décimètres dans le porphyre brun. (Dufrénoy et É. de Beaumont).	Près Ternuay (Haute-Saône)	1,25	— légèrement brunâtre, un peu bulleux, assez homogène, réfractaire.	2,646	2,470	0,267	10,09
17	*Porphyre* rouge antique, à pâte rouge marron.	D'Égypte.	0,29	— noir de Jayet éclatant, non transparent, bien compacte, peu réfractaire.	2,763	2,486	0,277	10,03
18	*Porphyre* brun. (Dufrénoy et É. de Beaumont).	Cimetière de Faucogney (Haute-Saône).	2,00	— idemque (17).	2,614	2,359	0,255	9,78
19	*Roche porphyrique* blanche, à base d'albite à potasse et de quartz, du terrain de transition des Vosges	Auxelles-Haut (Haut-Rhin)	1,99	— idemque (15), avec de petites bulles répandues dans toute sa masse et squelettes de quartz, réfractaire.	2,662	2,416	0,244	9,17
20	*Porphyre* vert, à base de feldspath andesite.	Chagey (Haute-Saône).	2,34	— idemque (17).	2,764	2,514	0,250	9,05
21	*Porphyre* brun, à cristaux de feldspaths très peu distincts.	Plancher-les-Mines (Haute-Saône)	1,01	— idemque (17).	2,633	2,423	0,210	7,94
	Diorites.							
22	*Porphyre dioritique*, à pâte d'un beau vert foncé et sans quartz.	D'Égypte.	1,61	— noir de Jayet éclatant, non transparent, bien compact, peu réfractaire.	2,021	2,679	0,242	8,99
23	*Diorite* à gros grain, avec hornblende vert noirâtre sans quartz.	Chateau-Lambert (Haute-Saône)	1,40	— idemque (22).	2,799	2,608	0,171	6,15
24	*Diorite* à grain moyen, avec hornblende noirâtre, sans quartz.	Chateau-Lambert (Haute-Saône)	1,44	— idemque (22).	2,658	2,684	0,174	6,09
	Euphotides, &c.							
25	*Variolite* de la Durance.	Hautes-Alpes.	2,29	— vert de bouteille, translucide avec bulles nombreuses ; *très réfractaire* ; il a seulement été amené à l'état pâteux.	2,896	2,288	0,606	20,93
26	*Euphotide* avec saussurite grise, légèrement bleuâtre et diallage vert d'émeraude.	D'Orezza (Corse)	2,68	— fortement coloré, bien compacte, non réfractaire	3,100	2,664	0,456	14,71
27	*Euphotide* avec saussurite blanche-verdâtre et diallage verte bronzée en cristaux nettement séparés.	Mont-Genèvre (Dauphiné).	5,76	— idemque (26).	2,698	2,641	0,257	8,87
28	*Schiste talqueux* à structure gneisique, avec filets de quartz grenu et chlorite		»	— noir brunâtre, à cassure mate avec quelques squelettes blancs.	2,773	2,546	0,227	8,12
	Mélaphyres.							
29	*Porphyre* de Belfahy (Mélaphyre), à pâte vert-noirâtre et à grands cristaux verdâtres de Labrador.	Belfahy (Haute-Saône).	2,14	— noir de Jayet éclatant, non transparent, bien compacte, peu réfractaire	2,775	2,604	0,171	6,16
	Trachytes.							
30	*Trachyte* rosé, peu cristallin. (Expérience de M. Ch. Deville).	Montagne de Chahorra	»		2,727	2,617	0,110	4,04
	Basaltes et roches volcaniques anciennes.							
31	*Lave ancienne*, d'une couleur brun-marron pâle, avec cristaux d'anorthite et quelques grains de péridot vert olive ; elle est un peu cellulense (donnée par M. Descloizeaux).	De la base de l'Héela	»	— il attaque très fortement le creuset et peut même le percer ; facilement fusible	2,644	2,716	0,126	4,43
32	*Basalte* noir, bien compacte, avec grains de péridot.	Du Kaiserstuhl	»	— non réfractaire, d'une couleur vert de bouteille noirâtre ; compacte et à cassure conchoïde.	2,931	2,814	0,117	3,99
33	*Lave* basaltique. (Expérience de M. Ch. Deville).	Cône de los Majorquines.	»		2,046	2,636	0,110	3,72
34	*Basalte* du pic de Fogo. (*Idem*).	Iles du cap Vert	»		2,971	2,879	0,092	3,19
35	*Porphyre amygdaloïde* brun-marron, avec cristaux de feldspath Labrador et géodes siliceuses, dans lesquelles se trouvent les agathes.	D'Oberstein (Palatinat)	3,68	— idemque (32).	2,070	2,603	0,077	2,88
	Laves et roches volcaniques vitreuses.							
36	*Lave* vitreuse du Pic. (Expérience de M. Ch. Deville).	Du Pic.	»		2,570	2,464	0,106	4,13
37	*Lave moderne* de la coulée de 1846, couleur très foncée tirant sur le noir, texture cristalline, grenue, avec quelques cavités. (Donnée par M. Descloiseaux).	De l'Hécla	»	— idemque (32).	2,762	2,678	0,062	2,97
39	*Obsidienne* compacte et bien caractérisée, noire, vitreuse, bien conchoïde. (Donnée par M. Descloiseaux).	De l'Hécla	»	— il ressemble complétement d'aspect à la roche elle-même.	2,383	2,349	0,034	1,43
40	*Lave* verte. (Expérience de M. Ch. Deville).	Volcan de Chahorra.	»		2,486	2,466	0,020	0,83
41	*Ponce* du Pic. (Expérience de M. Abich).	Pic de Ténériffe.	»		2,477	2,456	0,021	0,75
42	*Obsidienne* du Pic. (Expérience de M. Ch. Deville).	Pic de Ténériffe.	»		2,462	2,495	—0,013	—0,52
43	*Obsidienne* jaunâtre. (*Idem*).	Las Pedras blancas	»		2,363	2,476	—0,093	—3,90
	Roches à bases de Mica.							
44	*Granite* très riche en mica noir, avec hornblende verte, un peu de feldspath, orthose et de quartz	De Clefey (Vosges)	0,96	— idemque (14), seulement les petits squelettes blancs ne restent pas dans la pâte à cause de sa grande densité qui est supérieure à celle des verres des roches granitoïdes, et ils sont venus se réunir à la partie supérieure du verre.	2,902	2,622	0,280	9,65
45	*Gneiss* avec mica noir et un peu d'orthose blanc		0,95	— noir de Jayet éclatant, non réfractaire.	2,621	2,625	0,196	6,94
46	*Minette* (Woltz) brune foncée, d'un filon de 50 centimètres d'épaisseur qui se trouve dans la syénite.	A la Jumenterie, sommet du Ballon d'Alsace.	2,65	— bleu nuancé de noir, non transparent, bien compacte et sans aucune bulle ; facilement fusible.	2,644	2,551	0,093	3,90
47	*Roche* formée de mica noir éclatant et de grenat mélanite	De la Somma au Vésuve.	0,10	— noir éclatant, à cassure très conchoïde, avec bulles au centre ; très facilement fusible et très corrosif ; il a corrodé deux fois le creuset dans une fonte de dix-huit heures	2,934	2,829	0,105	3,58

ture des substances dont il s'agit d'obtenir la densité, que des erreurs que j'ai signalées, et qui sont inhérentes au mode d'expérimentation suivi pour obtenir le verre.

Pour la détermination des densités, qui était une opération assez longue, j'ai été secondé par M. Paufert.

J'ai résumé, sous forme de tableau, tous les résultats qui ont été obtenus dans une série assez nombreuse d'expériences. (Voir pour ce qui suit le tableau joint à ce Mémoire après la page 1388.)

Dans ce tableau les roches ont été réunies en groupes naturels, et dans chacun de ces groupes, elles ont été rangées d'après leur diminution de densité; on peut voir du reste que leur ordre est à peu près le même que si on avait fait un seul tableau général.

6. — *Influence de la teneur en eau.* — La plupart de ces roches contiennent de l'eau de combinaison, ainsi que j'ai déjà eu l'occasion de le démontrer à plusieurs reprises dans des recherches antérieures (1), et elle est le plus généralement donnée par la quatrième colonne du tableau qui porte le titre *perte au feu;* les guillemets indiquent d'ailleurs dans cette colonne qu'il y a une quantité d'eau nulle ou du moins très petite, qui n'a pas été déterminée, ou bien qui est égale à celle d'autres roches appartenant au même groupe; comme cette eau disparaît par l'action de la chaleur, la densité de la roche n'est plus rigoureusement comparable à celle de son verre; mais quoiqu'il soit impossible de calculer la densité qu'aurait eue le verre, si l'eau y avait été maintenue après la fusion, on peut cependant se rendre compte de quelques anomalies qui sont présentées par les roches et principalement par celles qui contiennent une proportion notable d'eau de combinaison. En effet, j'ai constaté (1) que les feldspaths qui renferment de l'eau, tels que l'oligoclase, l'andesite, le labrador, la saussurite, etc., ont une densité qui diminue par la calcination; il en résulte donc que pour des roches appartenant à un même groupe et ayant ces feldspaths pour base, la diminution de densité du verre devra, toutes choses égales, être d'autant plus grande qu'elles renfermeront plus d'eau de combinaison. On peut, du reste, observer aussi que les roches qui, par leur grande diminution de densité, paraissent faire exception à la loi générale et à l'ordre établi dans le tableau, sont surtout celles qui sont assez riches en eau, comme les euphotides, les variolites, etc., c'est-à-dire celles dont le verre n'est plus comparable à la roche.

---

(1) Voir les *Mémoires sur la composition minéralogique et chimique des roches des Vosges.* — *Annales des mines* (1847), t. XII, p. 195 et p. 283. — (1848), t. XIII, p. 667.

Quand la composition des roches n'est pas telle qu'elles puissent cristalliser par un refroidissement lent ou rapide, ce qui est le cas le plus ordinaire, et celui duquel je m'occupe en ce moment, les verres qu'elles produisent présentent la plus grande ressemblance; voici quelles sont leurs propriétés générales :

7. — *Diverses propriétés physiques.* — Leur couleur est presque constamment celle du verre de bouteille plus ou moins foncé; cependant elle peut varier du noir au vert, au verdâtre et au blanc grisâtre suivant que la roche est riche ou pauvre en fer.

Tantôt le verre est parfaitement homogène, tantôt au contraire, ainsi que de Saussure (1) l'avait déjà remarqué, on y observe de petits squelettes blancs formés de quartz et quelquefois de feldspath, qui ne se dissolvent pas dans la masse, lors même qu'elle est maintenue en fusion pendant plusieurs jours; cela n'a lieu que dans les roches qui, le plus généralement, contiennent beaucoup de quartz, et qui sont peu fusibles comme les roches granitoïdes et quelques porphyres.

La difficulté que le quartz éprouve à se dissoudre dans les silicates ayant la composition de ceux qui constituent généralement les roches, est un fait qu'il importe de constater d'une manière spéciale, parce qu'il montre que des roches quartzeuses opposeraient une grande résistance à la dissolution, lors même qu'elles se trouveraient en contact avec des masses à l'état de fluidité ignée.

Examinons maintenant chacun de ces verres en particulier :

8. — *Granites*, *Leptynites*. — *Granites syénitiques*. — *Porphyres granitoïdes*, (1), (2), (3), etc., (14).

Les granites, les leptynites, les syénites ainsi que les porphyres quartzifères et granitoïdes qui composent le groupe des *roches granitoïdes*, donnent des verres ayant un aspect bien constant; ils sont tous difficilement fusibles; la présence d'une très petite quantité de mica suffit dans les granites pour que le verre soit très notablement coloré par le fer; cependant pour le leptynite, pour le porphyre quartzifère, et aussi quelquefois pour le granite, on a des verres très peu colorés et ayant une couleur verdâtre claire; cela a lieu surtout pour celles de ses roches qui, étant très pauvres en mica, sont au contraire très riches en quartz, et qui sont par cela même très fortement réfractaires. Le granite de la Roche (Côte-d'Or), celui de la Serre (Jura), quelques leptynites et même des porphyres quartzifères sont dans ce cas; ils s'agglutinent plus ou moins sans se fondre bien complétement, et la diminution de densité qu'ils éprouvent par la fusion, est plus considérable que

(1) De Saussure, *Voyages dans les Alpes*, t. Ier, p. 126.

celle des roches granitoïdes ordinaires; on peut observer en outre que leur verre est d'une couleur et d'une composition très inégales; car à côté de parties presque blanches, on en a d'autres qui sont vert-noirâtres; cela tient à ce que les premières, plus riches en quartz, ont résisté à une fusion complète, tandis qu'au contraire les secondes proviennent d'une sorte de liquation du silicate de fer qui s'est formé, surtout près du mica, et qui, étant plus fusible, s'est réuni en gouttelettes au milieu de la masse.

9. — *Porphyres*, (15), 16), etc., (21).

Les roches réunies dans ce groupe des *porphyres* qui sont d'une composition extrêmement variée, donnent des verres plus colorés, plus éclatants, plus compactes et plus fusibles que ceux des roches granitoïdes; ils s'en rapprochent cependant lorsqu'ils contiennent du quartz, car alors ils renferment des bulles inégales, et on y observe quelques squelettes blancs provenant du quartz non dissous.

10. — *Diorites*, (22), (23), (24).

Les verres des *diorites* et des *porphyres dioritiques*, quelle que soit la nature du feldspath qui leur sert de base, sont identiques d'aspect avec ceux des porphyres sans quartz, tels que ceux de (17), (20), etc.

Il n'y a d'exception à faire à cet égard que pour la diorite orbiculaire de Corse, qui ne renferme qu'une très petite proportion d'amphibole, et dont le feldspath très riche en alumine donne des squelettes blancs, t ne se dissout que difficilement dans la masse d'une manière complète.

11 — *Euphotides*, *Serpentines*, *etc.*, (25), (26), (27) et (28).

J'ai réuni dans le groupe des euphotides, des roches qui par leur grande diminution de densité, paraissent faire exception à la loi générale qui sera énoncée plus loin, car cette diminution est plus grande que celle qu'on serait porté à leur attribuer d'après cette loi; à cet égard, la *variolite* de la Durance et l'*euphotide* de Corse offrent même des anomalies remarquables. Pensant qu'elles pouvaient être dues à la grande teneur de la roche en magnésie, ainsi qu'à la présence d'une quantité notable d'eau de combinaison, j'ai cherché, pour reconnaître si cette conjecture était fondée, quelle était l'action de la chaleur de four de verrerie sur les roches à base d'hydrosilicate de magnésie; mais elles n'y entrent pas en fusion complète; ainsi la *serpentine* noire verdâtre avec nodules rougeâtres provenant de Cleury, vallée du Tholy, a donné un culot brunâtre assez bien agglutiné; la *serpentine* noire verdâtre, veinée de rouge du Goujot, près de Saint-Étienne (Vosges), a donné un culot mieux agglutiné que le précédent et ayant une couleur plus foncée; la *serpentine* blanc verdâtre et pseudomorphique de Snarum en Norwège, et une *serpentine*

noble vert clair très onctueuse au toucher, ont donné, la première, une masse blanc jaunâtre, et la 2e une masse rouge de brique qui s'égrenaient l'une et l'autre entre les doigts; enfin la *stéatite* d'un blanc de lait, dite *craie de Briançon* a conservé absolument le même aspect; ces différentes roches, qui avaient cependant été réduites préalablement en fragments aussi petits que possible, se sont donc seulement agglutinées d'une manière plus ou moins incomplète et à peu près proportionnellement à leur richesse en fer indiquée par leur couleur.

12. — *Mélaphyres*, *Basaltes*, *Roches volcaniques anciennes et modernes*, *Laves*, (29). (30), (31), etc., (43).

Ces roches ont donné des verres qui se ressemblent beaucoup entr'eux, ainsi qu'aux verres des diorites et de plusieurs porphyres; en sorte qu'il serait le plus souvent impossible de les distinguer; les caractères généraux de ces verres sont :

Couleur foncée qui varie du vert de bouteille au noir de jayet, suivant la richesse en fer de la roche, et qui les rend tantôt opaques et tantôt translucides.

Compacité très grande, cassure bien conchoïde, éclat très vif, absence de squelettes blancs de quartz qui s'observent surtout dans les roches à base de feldspaths riches en silice, contenant du quartz en excès, et qui sont par cela même peu fusibles.

Fusibilité beaucoup plus grande que celle des roches qui précèdent, aussi n'y voit-on qu'assez rarement quelques bulles bien arrondies qui se trouvent surtout au centre de la masse fondue.

Dans l'énumération de ces roches qui a été faite sur le tableau, j'ai mentionné d'une manière spéciale celles dont les verres présentaient quelque particularité.

Relativement aux *roches volcaniques*, il importe d'observer que certains produits des volcans peuvent avoir été soumis à un refroidissement aussi rapide que celui du verre obtenu artificiellement; on conçoit alors que la différence entre les densités devient très faible ou nulle: c'est ce qui a lieu pour certaines laves et pour l'obsidienne; il résulte même des expériences de M. Charles Deville que la densité de cette dernière roche, qui n'est plus cristalline et qui est un verre naturel, peut être inférieure à celle de son verre artificiel.

13. — *Roches à base de Mica*, (44), (45), (46) et (47).

Les résultats donnés par les roches à base de mica ou qui contiennent une forte proportion de mica varient entre des limites étendues, ce qui tient à ce que la composition chimique de celles de ces roches qui ont été essayées est elle-même très variée; leur diminution de densité est généralement celle des

roches granitoïdes comme pour (44), ou bien celle des roches roches volcaniques comme pour (47), suivant qu'elles doivent être rangées à l'une ou à l'autre de ces roches d'après leur gisement et d'après leurs caractères minéralogiques; quelquefois au contraire la diminution de densité est moindre que celle qu'on serait tenté de leur attribuer d'après ces mêmes caractères. Il importe d'observer, du reste, que ces roches attaquent toutes très fortement les creusets à cause du fluor qu'elles contiennent, et par conséquent, les verres qu'elles donnent ne leur sont plus entièrement *comparables;* c'est pour cette raison sans doute, que des recherches spéciales faites sur du mica pur m'ont toujours donné des résultats très peu concordants; ainsi dans trois essais sur le *lépidolite* rose lilas et en petites paillettes de Rosena, qui ont été exécutés, l'un à la forge et les deux autres au four de faïencerie, j'ai obtenu pour le premier, une augmentation de densité de 0,49 p. 100, et au contraire pour le deuxième et le troisième des diminutions de densité de 10 et même de 15 p. 100; la divergence de ces résultats doit être attribuée à ce que le lépidolite étant un mica *très riche* en fluor, dissout une portion plus ou moins grande de la matière du creuset suivant la durée de l'opération et à ce qu'une grande quantité variable de silicium peut se dégager avec le fluor.

14. — Si on étudie sur le tableau qui précède les variations de densité qu'éprouvent les différentes séries de roches, on voit qu'il en résulte ce fait important, que généralement quand un silicate passe de l'état *cristallin* à l'état *vitreux*, il y a diminution de densité.

On voit aussi que la constance des résultats obtenus pour les roches appartenant à un même groupe et auxquelles on doit appliquer la même dénomination, est assez grande, si on observe qu'elles présentent souvent de grandes différences d'aspect et qu'elles proviennent des gisements les plus divers; cette constance est d'autant plus grande que par plusieurs motifs que j'ai exposés antérieurement, et par leur nature même, des expériences du genre de celles qui ont été entreprises ne sont pas susceptibles d'une grande précision.

D'après cela on peut se proposer de généraliser les résultats des expériences de M. Charles Deville ainsi que les miens, et chercher quelle est la relation qui existe entre la diminution de densité d'une roche et sa composition chimique. Pour résoudre ce *problème d'une manière complète*, il faudrait, il est vrai, des expériences beaucoup plus nombreuses que celles qui ont été faites jusqu'à présent, et embrassant toute la série des silicates simples, naturels ou artificiels, afin de décider quelle est, en particulier,

l'influence des substances minérales qui ne sont dominantes dans aucune roche et qui se trouvent cependant à peu près dans toutes, telles que l'alumine, la chaux, le fer, la magnésie; on ne peut établir actuellement à leur égard que des conjectures; mais quoi qu'il en soit, si on considère seulement les *roches*, il résulte du mode d'association des *silicates naturels* qui les composent et aussi de recherches qui ont été faites sur leur constitution chimique (1), qu'on peut établir le principe suivant :

« Quand les *roches* passent de l'état *cristallin* à l'état *vitreux*, » elles éprouvent une diminution de densité, qui, toutes choses » égales, paraît être d'autant plus grande, qu'elles ont plus de si- » lice et d'alcali, et au contraire d'autant plus petite, qu'elles ont » plus de fer, de chaux et d'alumine.

» En rangeant ces roches par ordre de diminution de densité, » celles qu'on regarde comme les plus *anciennes* se trouvent *géné-* » *ralement* les *premières;* tandis que les plus *modernes* sont les » *dernières;* et en tout cas, leur ordre de diminution de densité est » à peu près l'ordre *inverse* de leur *fusibilité.* »

Les diminutions de densité d'une même famille des roches sont quelquefois assez variables; cependant on peut généralement les considérer comme comprises entre les limites données par le tableau suivant :

Granites, leptynites, porphyres, quartzifères, etc.	9 à 11 0/0
Granites syénitiques et syénites.	8 à 9
Porphyres rouges, bruns et verts, avec ou sans quartz qui sont à base d'orthose et d'oligoclase ou d'andesite.	8 à 10
Diorites et porphyres dioritiques.	6 à 8
Mélaphyres.	5 à 7
Basaltes et trachytes, roches volcaniques anciennes.	3 à 5
Laves, roches volcaniques et vitreuses.	0 à 4

Les roches non cristallines qui, comme l'obsidienne, etc., sont déjà à l'état de verre dans la nature, échappent nécessairement aux principes qui viennent d'être énoncés; cela paraît avoir lieu aussi pour les euphotides, les variolites et pour quelques porphyres dans lesquels la diminution de densité est tantôt plus grande, tantôt au

(1) Voir : *Mémoires sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges qui font connaître la composition chimique de la plus grande partie de ces roches soumises à la fusion.* (*Annales des mines.*)

contraire plus petite qu'on ne serait tenté de le croire d'après leur teneur en silice et d'après leur composition chimique. Quant aux roches à base de mica, elles doivent être considérées comme exceptionnelles ; mais généralement leur diminution de densité est d'autant plus grande qu'elles sont plus riches en silice.

15. — Si on désigne par V et V′ les volumes occupés par une même roche à l'état *cristallin* et à l'état *vitreux*, par d et d' les densités correspondantes, on aura évidemment $V\,d = V'\,d'$ ou $\frac{V'-V}{V'} = \frac{d-d'}{d}$; tout ce qui a été dit relativement aux variations de densité des roches s'applique donc aussi aux variations de volume ; seulement ces dernières sont en raison inverse.

16. — Si on connaissait la composition chimique de toutes les roches qui précèdent, on pourrait calculer pour chacune d'elles la densité qu'aurait le *mélange* des différentes substances qui entrent dans leur composition.

Soit en effet δ cette densité, et $p_1, + p_2 + p_3$ les quantités pondérales des substances minérales qui composent la roche, on aura d'abord $p_1 + p_2 + p_3$ etc. $= 100$.

d_1 d_2 d_3 étant les densités des substances dont les poids sont respectivement p_1 p_2 p_3, la densité δ du mélange sera donnée par l'expression

$$\delta = \frac{100}{\frac{p_1}{d_1} + \frac{p_2}{d_2} + \frac{p_3}{d_3} + \text{etc.}} \quad (a)$$

Dans l'état actuel de la minéralogie chimique des roches, il serait difficile de représenter chaque roche par une formule bien nette, et cette formule aurait d'ailleurs l'inconvénient d'être un peu compliquée ; mais on peut observer que la composition de la plupart de ces roches est peu différente de celle des feldspaths constituants ; par conséquent on saura dans quel sens varie la densité δ pour une roche en la déterminant pour ses feldspaths constituants. Il serait d'ailleurs facile de reconnaître que ce qui va être dit relativement aux feldspaths s'applique aussi à la plupart des silicates qui entrent dans la composition des roches ; en conséquence j'ai déterminé pour les principaux feldspaths la densité qu'on aurait, en supposant que les différentes substances qui les composent ne fussent pas combinées mais simplement réunies à l'état de *mélange ;* cette détermination a eu lieu au moyen de la formule (a), et le tableau suivant montre suffisamment quels sont les résultats qui ont été obtenus :

	COMPOSANTS.	DENSITÉ des COMPOSANTS.	DENSITÉ ET COMPOSITION DU FELDSPATH. Adulaire du Saint-Gothard.	Orthose de la Syénite (Vosges).	Albite à potasse.	Oligoclase.	Andesite blanche des Ballons (Vosges).	Labrador de Belfahy.	Vosgite de Ternuay.	Anorthite de la Somma.
			Abich	Delesse.	Abich	Berzélius.	D.	D.	D.	Abich
1	p_1 Silice. . . .	d_1=2,65 (Naumann).	66	64	70	64	59	53	49	44
	p_2 Alumine. .	d_2=4,13 (Dumas et L.)	18	19	17	24	23	28	31	36
	p_3 Oxide de fer	d_3=5,20 (Naumann).	»	1	1	»	»	1	1	»
	p_4 Chaux . . .	d_4=3,18 (Gmelin) . .	1	»	2	3	6	6	6	19
	p_5 Soude . . .	d_5=2,81 (Karsten) . .	1	3	6	8	7	5	5	1
	p_6 Potasse . .	d_6=2,66 (Karsten). .	14	12	4	1	2	3	3	»
	p_7 Eau.	d_7=1	»	»	»	»	1	2	3	»
	Somme.		100	100	100	100	100	100	100	100
2	Densité. . trouvée . . . . . d		2,576	2,551	2,622	2,668	2,683	2,719	2,771	2,763
3	Densité. . calculée. . . . . δ		2,847	2.900	2,861	2,934	2,907	2,901	2,883	3,165
4	Différence. . . . . δ-d		0,271	0,349	0,239	0,266	0,224	0,182	0,112	0,402
5	Augmentation de densité. . $\frac{\delta-d}{d}$		10	14	9	10	8	7	4	15

Les colonnes (1) donnent, d'après différents chimistes, la composition approchée des huit principales espèces de feldspaths ou p_1, p_2, p_3, etc.; elles donnent, en outre, les densités d_1, d_2, d_3..., admises pour la silice, l'alumine, l'oxyde de fer, la chaux, la soude, la potasse et l'eau, lorsque ces substances sont dégagées des combinaisons. Dans la colonne (2) se trouvent les densités d données par l'expérience pour chacun des huit feldspaths; et dans la colonne (3) les densités δ, calculées pour les mêmes feldspaths au moyen de la formule (a).

On voit tout d'abord que les densités δ sont plus grandes que les densités d; et il est facile de reconnaître, par un calcul très simple, que cela aurait encore lieu, lors bien même qu'on prendrait pour les densités de la potasse et de la soude, qui sont un peu incertaines, des nombres plus petits que ceux de M. Karsten, tels, par exemple, que ceux adoptés dans divers travaux de

M. Kopp et de M. Filhol (1); les différences entre les deux densités d et δ, ainsi que les augmentations exprimées en centièmes de la densité à l'état cristallin, sont d'ailleurs données par les colonnes (4) et (5); dans tous les feldspaths il y a donc augmentation de densité, et bien que cette augmentation ne paraisse pas suivre une loi simple, toutes choses égales, elle est d'autant plus grande qu'il y a moins d'eau de combinaison et plus de chaux, de soude et d'alumine.

Il résulte du tableau précédent que, *dans le feldspath, la densité à l'état de mélange est plus grande que la densité à l'état cristallin, et plus grande*, à fortiori, *que la densité à l'état vitreux*. Par conséquent, si on suppose que les composants du feldspath, d'abord à l'état de mélange, forment une combinaison cristalline, et soient ensuite vitrifiés par l'action de la chaleur, il y aura successivement augmentation de volume dans la cristallisation, puis dans la vitrification.

Au premier abord, la relation $\delta > d > d'$, qui existe entre les densités d'un feldspath à l'état *cristallin* d, à l'état *vitreux* d', et à l'état de *mélange* δ, paraît *paradoxale*, et même en contradiction avec ce qui a été dit antérieurement; il semble, en effet, que la densité du mélange δ n'est autre que la densité du verre d'; mais on voit, au contraire, que ces densités sont très différentes, que d, et à plus forte raison que d', est toujours beaucoup plus petit que δ; par conséquent, lorsque des bases telles que l'alumine, la chaux, la soude, la potasse, etc., sont dissoutes dans de la silice de manière à former un verre, le volume de ce verre est plus grand que la somme des volumes de chacune des substances qui le composent : dans le cas des feldspaths, l'augmentation de volume de la silice, par suite de la dissolution des bases, peut même aller jusqu'à 20 et 25 p. 100 du volume à l'état vitreux.

M. Longchamps et M. Billet (2) avaient déjà appelé l'attention des physiciens sur les variations que présentent les volumes des

---

(1) Voir : *Annales de chimie et de physique*, 1847, etc.

(2) Billet, *Thèse de chimie; sur les variations de volume*, etc. Dans une publication récente, M. Liebig vient également d'étudier d'une manière spéciale les variations de volume résultant du mélange des liquides lorsqu'ils sont séparés par des diaphragmes. (Voir *Annales de chimie et de physique*, 3e série, t. XXV, p. 367. *Recherches sur quelques unes des causes du mouvement des liquides dans l'organisme animal*, par M. Justus Liebig.)

corps solubles avant et après dissolution; on voit que ces variations sont surtout très notables lorsque le dissolvant est de la silice.

17. — Il résulte des faits qui viennent d'être étudiés que le rayon de la terre a dû subir différentes variations. Si on admet, en effet, l'hypothèse d'une origine ignée pour la terre, la cristallisation ou la *formation des terrains non stratifiés* qui composent sa croûte solide a amené une diminution du rayon, ainsi que l'a déjà fait observer M. Ch. Deville (1); comme cette croûte solide est presque entièrement formée de granite, et comme son épaisseur peut être estimée approximativement, il serait même facile, d'après ce qui précède, de calculer cette diminution.

Si on supposait, ce qui est du reste très peu probable, que les substances qui composent l'écorce terrestre étaient primitivement isolées et à l'état de mélange au lieu d'être à l'état fluide ou vitreux, d'après le paragraphe précédent, la cristallisation des terrains non stratifiés au lieu de donner une diminution aurait, au contraire, produit une augmentation du rayon.

Dans l'hypothèse de l'origine *ignée* de la terre, une autre cause a dû produire une diminution plus grande que la cristallisation, c'est le *refroidissement;* car, bien qu'il s'opère avec une extrême lenteur, depuis la formation des premières roches granitoïdes il a donné lieu à un abaissement de température à la surface de la terre, et cet abaissement a produit une contraction sur toute la longueur du rayon, tandis que la diminution due au changement d'état s'est opérée seulement sur une très petite partie de sa longueur.

Une troisième cause a fait varier le rayon, mais en sens inverse des deux précédentes, c'est *la formation des terrains stratifiés;* car ces derniers terrains, qui proviennent de la destruction des terrains non stratifiés, sont composés de couches d'argile, de grès ou de calcaire; or, la densité des couches d'argile et de grès est moindre que celle des roches granitoïdes, et la chaux, qui était d'abord à l'état de chaux caustique, prend une densité moindre en absorbant l'acide carbonique de l'air et en se changeant en carbonate pour former les calcaires; dans la formation des terrains stratifiés aux dépens des terrains non stratifiés; il y a donc augmentation de volume ou allongement du rayon.

Enfin, il y a encore une quatrième cause de variations; elle ré-

---

(1) Ch. Deville, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XX.

side dans *les variations de volume résultant des actions chimiques* que les matières composant le globe terrestre exercent les unes sur les autres : elle agissait à toutes les époques ; cependant ses effets, probablement très grands aux premiers âges géologiques, ont dû diminuer beaucoup avec la température, et à mesure que l'équilibre s'établissait d'une manière plus complète entre les affinités chimiques, de sorte qu'ils sont très atténués dans la période actuelle. Cette cause est, du reste, extrêmement complexe, et elle a pu donner lieu tantôt à une diminution, tantôt à une augmentation du rayon.

Par conséquent, dans l'hypothèse de l'origine ignée, quatre causes différentes agissant encore à l'époque actuelle, ont fait varier la longueur du rayon de la terre ; ce sont : 1° *le refroidissement de la terre ;* 2° *la formation des terrains non stratifiés ;* 3° *la formation des terrains stratifiés ;* 4° *les variations de volume résultant des actions chimiques.*

Les deux premières causes ont produit une diminution, et la troisième une augmentation du rayon. La quatrième a pu produire l'un ou l'autre de ces deux effets.

Les variations auxquelles elles ont donné lieu pour le rayon n'ont pas changé le mouvement de translation de la terre, mais elles ont dû cependant modifier sa vitesse de rotation, sa forme, ainsi que tous les phénomènes astronomiques qui sont fonction du rayon ; en appliquant le calcul à la recherche de ces modifications qui résultent des trois premières causes, il est d'ailleurs facile de démontrer qu'elles sont très faibles.

M. Puton lit la note suivante : *Sur le leptynite des Vosges.*

Le leptynite est composé de feldspath orthose grenu ou lamellaire en grains fins de couleurs variables, et de quartz sableux ou amorphe. C'est le type de la roche, et elle a alors une apparence homogène.

Le leptynite, en enveloppant différents minéraux disséminés, prend les noms suivants :

1° *Leptynite granitoïde*, contenant du mica disséminé comme dans le granite ; c'est le leptynite le plus répandu.

2° *Leptynite gneissique ;* le mica y est disposé en lignes planes ou contournées. Il a une structure fissile, et il occupe de grandes surfaces.

3° *Leptynite maculé ;* lorsqu'il est parsemé régulièrement de macules formées par de petits amas de mica, ou d'amphibole verte

agglomérée, ou d'une substance verdâtre qui n'a pas encore été analysée.

4° *Leptynite graphique;* c'est lorsque le mica en lignes brisées imite des caractères hébraïques. Ce leptynite se trouve au Tholy, dans la vallée de Granges, et à Gérardmer.

5° *Leptynite syénitique*, avec amphibole et mica ou sans mica. L'amphibole y devient même si abondante que la roche prend l'aspect d'un véritable diorite. Ce leptynite se remarque à Ranfaing, où il contient des grenats; il est en blocs roulés à Raon-aux-Bois et à Tendon. L'amphibole, quelquefois disposée en lignes planes, lui donne une structure schistoïde : le lac de Fondromé en offrirait un bon exemple si je n'étais pas porté à considérer la roche qui s'y trouve comme un *gneiss amphiboleux* passant au leptynite.

6° *Leptynite grénatique;* quand la roche d'un blanc cristallin, ou d'un rose clair, d'une structure saccaroïde, et formée de feldspath grenu et de quartz sableux, contient des petits grenats d'un brun rougeâtre ou jaunâtre, nombreux et disséminés. (Ranfaing, côte de Sainte-Marie-aux-Mines, Gérardmer, Sainte-Sabine.)

7° Enfin *leptynite feldspathique;* c'est une roche formée essentiellement de feldspath rougeâtre et lamellaire sans quartz ou avec très peu de quartz (Eloyes, Tendon.), contenant quelquefois de la stéatite en petits grains disséminés (vallée de Putières, La Sûche) ou de la chlorite (le Tholy). Ces deux substances faisaient considérer cette roche comme étant une *protogine;* mais en voyant le leptynite perdre peu à peu de son quartz sableux, de sa structure grenue, se colorer insensiblement en rouge de brique, et cristalliser de plus en plus son feldspath, on est forcé de regarder cette roche comme dépendante de la formation qui est le sujet de cette note.

Tous les divers aspects sous lesquels cette roche se présente ne peuvent pas constituer différentes espèces de leptynite; ce ne sont que des modifications dont il est souvent aisé de se convaincre, notamment à Ranfaing, près de Remiremont, où l'on rencontre toutes ces variétés passant alternativement de l'une à l'autre, sans aucun ordre, et où un seul bloc en offre souvent plusieurs réunies.

Le leptynite et le gneiss sont pour nous les premières roches stratifiées; c'est la première écorce du globe, la croûte qui s'est formée par une action aqueuse accompagnée d'une chaleur très intense. Le premier a dû se constituer aux dépens du second, car il contient quelquefois de ses débris. Les différentes variétés minéralogiques du leptynite sont la preuve que ses éléments étaient inéga-

lement répandus dans la dissolution lorsqu'il se déposait. Il est important de constater que le granite, roche évidemment pyrogène, ne présente pas d'accidents minéralogiques semblables. Le leptynite dépend donc de la formation du gneiss; aussi, dans bien des cas, il est une espèce de gneiss. Il est stratifié comme lui, et de même que lui il est encore une roche métamorphique qui a participé aux mêmes phénomènes de métamorphisme. Quoique fissuré verticalement à la manière des granites, sa stratification est souvent apparente, et sa cassure a toujours lieu dans le sens des strates. Je le regarde comme le grès du gneiss, de même que la grauwacke est le grès du terrain schisteux ou intermédiaire. Le leptynite passe peu à peu au gneiss, entre eux il y a confusion insensible des parties constituantes; mais les couches de l'un alternent quelquefois avec les couches de l'autre, en conservant la même concordance; néanmoins ils ne sont pas toujours réunis, et l'un ou l'autre manque souvent.

Le leptynite repose très souvent sur le granite commun, avec lequel il est facile de le confondre lorsque leurs éléments sont les mêmes, le granite, dans bien des cas, ne se séparant pas brusquement du leptynite. Il y a même une espèce de passage entre ces deux roches, ou plutôt un mélange superficiel et accidentel des parties constituantes. Cependant si l'on compare la cristallisation et la structure du feldspath et du quartz dans le leptynite avec la manière d'être des mêmes parties dans le granite, et si l'on considère la disposition des lamelles du mica dans la première roche, lamelles qui ont toujours leur axe longitudinal parallèle au plan de stratification, comme dans un schiste ou un gneiss, il ne sera plus possible de confondre le leptynite avec le granite commun. Si une analyse comparative du feldspath de ces deux roches était faite, elle établirait certainement une différence sensible entre elles. M. A. Delesse, qui a déjà rendu de si grands services à la géologie des Vosges en analysant les porphyres et les syénites de nos montagnes, m'a promis de s'occuper chimiquement de cette question; je ne doute pas que ce savant minéralogiste n'y apporte un grand jour.

J'ai dit que le leptynite reposait sur le granite commun; on peut, en effet, par leur position, établir une ligne de démarcation entre eux. Si l'on contourne le massif du Grismouton en partant de la vallée de la Vologne, que l'on quittera pour entrer dans celle de Tendon, puis descendre au Tholy, dans celle de Cleurie, et revenir à la base méridionale du massif que je cite pour exemple jusqu'à Jarmenil, on verra presque constamment le leptynite se

tenir sur les flancs ou au sommet des montagnes, ayant le granite à ses pieds et dans le fond des vallées. J'ai dit *presque constamment*, parce que l'on voit quelquefois le granite déborder le leptynite par des pointes qu'il pousse dans ses couches, et prendre sa place en s'étendant sur elles; de même l'on remarque de temps en temps le leptynite, devenu plus puissant, occuper le fond des vallées, et être recouvert par les attérissements. Ces exceptions n'empêcheront pas de reconnaître la position normale du leptynite, et d'établir un point de partage entre lui et le granite. Le groupe de montagnes qui se prolonge de Brugères à Gérardmer présente le même exemple que celui du massif du Grismonton.

Les filons feldspathiques sont très rares dans le leptynite; on en cite un exemple au sommet de la montagne qui sépare le Chipal de Fraise, où un Eurite porphyroïde quartzifère pénètre dans les couches de la roche qui est le but de cette notice. Je n'ai pu vérifier ce fait que d'une manière incomplète, ce qui fait que je suis encore dans le doute sur leur existence dans la roche qui nous occupe. Dans le granite commun, au contraire, les filons d'Eurite et de porphyres sont très fréquents. Le leptynite se serait-il déposé postérieurement à la consolidation du granite, la non pénétration des filons feldspathiques semblerait l'indiquer? ou bien le granite commun a-t-il fait son éruption après le dépôt du leptynite? Voilà deux questions auxquelles il est difficile de répondre, parce qu'il se trouve des faits qui les appuyent toutes deux; cependant le métamorphisme évident du leptynite et la dislocation de ses couches ne peuvent être attribués qu'au soulèvement du granite sur lequel il repose; d'ailleurs il est fréquemment traversé par des filons et des masses granitiques. Mais quelle est la cause qui a arrêté dans les limites du granite, sans pénétrer dans le leptynite, l'éruption des filons d'Eurites et de porphyres? Ces filons étaient-ils déjà intercalés dans le granite avant son soulèvement principal? Ce problème demande encore beaucoup d'observations avant d'être résolu.

On reconnaît dans la formation granitique des Vosges plusieurs époques d'éruption bien caractérisées par des différences minéralogiques : ainsi le granite commun, le granite porphyroïde, le granite syénitique, le granite micacé, etc., sont autant d'époques de formation. On n'est pas encore bien d'accord pour déterminer l'âge relatif de ces diverses espèces de granite; cependant on regarde le granite commun comme le premier consolidé; le granite porphyroïde est évidemment postérieur, puisqu'il forme des filons et des massifs dans le granite commun, qu'il pénètre dans le lep-

tynite et dans le gneiss, et qu'il est même injecté dans le terrain schisteux, qui paraît être la limite de son éruption. Le granite commun devient, dans quelques cas, porphyroïde par un peu plus de développement dans sa cristallisation ; mais il est toujours facile de ne pas confondre cette sorte de granite, produit par une cause accidentelle, avec le vrai granite porphyroïde.

Si les roches feldspathiques n'ont pas pénétré dans le leptynite, en revanche il est le gisement le plus habituel de l'ophiolite (*serpentine*). Cette roche n'a pas fait subir de modifications à la roche encaissante; seulement on remarque dans ses fissures un enduit stéatiteux acquérant souvent plus d'un millimètre d'épaisseur ; il pourrait bien devoir son origine à l'éruption de cette roche, si riche en magnésie.

Il existe dans le leptynite des filons de quartz blanc hyalin qui s'y présentent en ramifications; ils contiennent du feldspath orthose rose lamellaire, de grandes lames de mica argentin, de la stéatite, et quelquefois des aiguilles de tourmaline; ils n'ont pas de puissance, et ce sont plutôt des veines qui parcourent la roche en divers sens. Les mêmes filons se remarquent dans le gneiss; on ne les voit pas dans le granite commun. Cette exception n'appuyerait-elle pas encore la séparation du granite commun de la formation du leptynite, et ne serait-elle pas significative à l'égard du mode de formation de ces deux roches? Je regarde ces veines de quartz comme contemporaines de la formation du leptynite et du gneiss, et ayant par là une certaine analogie avec celles qui existent dans les schistes du terrain intermédiaire.

M. Rozet est le premier qui ait tracé dans les Vosges, avec exactitude, les caractères et les limites du leptynite, et fait connaître ses relations avec le granite commun, et son passage insensible au gneiss. Il ne regarde pas le leptynite comme une roche stratifiée; mais je suis d'accord avec lui en séparant le granite commun du leptynite, séparation que quelques observateurs n'admettent pas, quoique ces deux roches soient d'origine opposée et d'âge différent.

M. Perrey, sur la demande de M. le Président, donne quelques détails sur les principaux résultats auxquels l'ont conduit ses recherches rétrospectives sur les tremblements de terre. Après avoir exposé la marche qu'il a suivie pour dresser ses divers catalogues, relatifs aux principales régions physiques de l'Europe, il développe spécialement deux conséquences qui résultent de tous ses Mémoires.

1° Dans les grands bassins, comme ceux du Rhin, du Danube, du Rhône, la direction moyenne des secousses coïncide sensiblement avec l'axe de ces bassins; et dans les chaînes de montagnes, comme les Alpes scandinaves, les Pyrénées....., avec l'axe principal de ces chaînes.

2° Relativement aux époques de l'année où le phénomène se manifeste avec le plus grand degré de fréquence, M. Perrey fait observer que l'opinion émise par M. de Humboldt lui paraît dénuée de fondement. M. de H. prétend (dans le *Cosmos*) que les tremblements de terre sont les plus fréquents aux équinoxes. Or, s'il est vrai qu'aux Antilles l'équinoxe d'automne offre un maximum dans le degré de fréquence des sommations souterraines, comme M. Perrey l'a constaté lui-même, l'équinoxe du printemps présente un minimum. En Europe, ce sont les mois d'automne, et surtout ceux d'hiver, qui sont le plus souvent signalés par des secousses. L'été occupe le dernier rang.

Après cette communication, M. Martins fait observer que, par la nature de leurs études, les géologues sont encore plus propres que les météorologistes à ce genre d'études. Ils peuvent, en effet, comparer la direction des secousses à celle des vallées, des chaînes de montagnes, avec la nature et la distribution des diverses formations, les failles qui traversent le pays; en un mot, ils peuvent mettre en rapport les phénomènes du tremblement de terre avec la structure de l'écorce du globe dans les contrées ébranlées. M. Perrey ayant déjà réuni près de six mille observations de tremblements de terre, ce serait contribuer aux progrès de la science que de lui envoyer des observations de tremblements de terre, afin de l'aider à réunir un nombre de cas suffisants, pour pouvoir s'élever ensuite à des généralisations réellement fondées sur des faits nombreux et soigneusement discutés.

Après la séance, qui a été levée à quatre heures, la Société géologique, guidée par la Société d'émulation des Vosges, s'est rendue au Musée, où une exposition des produits de l'horticulture vosgienne avait été préparée par les soins de la Société d'émulation. Elle a ensuite visité les collections d'histoire naturelle du Musée, où les terrains qui constituent le système géologique des Vosges sont représentés dans le plus grand détail.

A la bibliothèque publique, M. le secrétaire perpétuel de la Société d'émulation a remis à chacun des membres de la Société géologique une carte du département des Vosges, d'après M. le capitaine Rozet, le dernier volume publié des *Annales de la Société d'émulation*, et la *Description topographique et géognostique du Kaiserstuhl*, par le docteur Eisenlohr (1829), traduite de l'allemand par M. Gley.

Séance du 11 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à trois heures et demie.

M. Delesse, secrétaire, rend compte d'une excursion faite le matin.

La Société a visité les carrières de muschelkalk de Girecourt, dans lesquelles elle a trouvé cette formation très bien caractérisée, et présentant un calcaire ayant la couleur gris de fumée légèrement brunâtre, et la cassure conchoïde, qui lui sont habituelles; il est identique à celui qu'on peut observer, soit dans le département de la Haute-Saône, aux environs de Villersexel, soit autour de la chaîne des Vosges, soit même dans des contrées beaucoup plus éloignées, comme l'Allemagne et la Pologne.

Dans certaines parties, la roche devient rude au toucher et un peu caverneuse; on reconnaît alors qu'elle est magnésienne, si même elle n'est pas une véritable dolomie, ainsi que M. É. de Beaumont l'a constaté pour quelques couches du muschelkalk des Vosges.

La Société a recueilli les principaux fossiles caractéristiques du muschelkalk, savoir : *Lima lineata*, *Mytulites eduliformis*, *Turritella obsoleta*, *Terebratula vulgaris*, etc. L'*Encrinites liliiformis* a été trouvé entier et dans un état parfait de conservation par M. Gastaldi; les débris des tiges de cette encrine forment les principaux bancs de la carrière, et constituent un calcaire à entroques, dont la structure est surtout rendue bien visible par l'altération atmosphérique, car ces tiges, dans les-

quelles le calcaire est à l'état spathique et cristallin, résistent mieux à l'action dissolvante de l'eau que le ciment qui les réunit, dans lequel le calcaire est à l'état grenu, en sorte qu'elles restent en saillie sur la roche.

M. Michelin a fait observer les baguettes d'un Oursin avec des fragments de son test; plusieurs membres ont rencontré de petites Natices, des moules intérieurs de coquilles turriculées difficilement reconnaissables, ainsi que des dents et des côtes de Sauriens. Dans les champs voisins des carrières on a pu récolter des fragments *d'Ammonites nodosus*. (Schl.)

La Société se rend ensuite à Fontenay et à Aydoilles, où dans plusieurs carrières elle peut observer le grès bigarré bien caractérisé, et contenant un grand nombre de débris, d'empreintes végétales principalement formées par le *Calamites arenaceus*, l'*Anomopteris Mougeotii*, etc., ainsi que des coquilles, parmi lesquelles on reconnaît la *Natica Gaillardotii*, la *Myophoria curvirostris*, et quelques *Turritella*.

Elle remarque la relation de position du grès des Vosges, qui forme des collines et des montagnes au pied desquelles le grès bigarré, qui en a été distingué d'abord M. par É. de Beaumont, s'étend en stratification, généralement discordante, mais qui paraît être accidentellement concordante.

Près de Deyvillers, elle observe un lambeau de muschelkalk renfermant un grand nombre de *Lima lineata* et *striata*, ainsi que l'*Ostræa subanomia*. Ce lambeau, qui a été disloqué, occupe le fond d'un bassin dont les parois sont formées de grès bigarré relevé. M. Hogard fait observer que cet accident est dû à une faille dont il indique la direction.

M. le docteur Lesaing présente à la Société la machoire inférieure d'un Saurien qu'il a appelé *Simosaurus Gaillardotii;* ce fossile, trouvé dans le muschelkalk de Domevre (Meurthe), a été le sujet d'une notice insérée dans les *Mémoires de la Société royale des sciences de Nancy*. Il met aussi sous les yeux de la Société plusieurs fossiles végétaux provenant du grès bigarré : l'un a été nommé *Caulopteris Lesangeana* par MM. Schimper et Antoine Mougeot, auteurs de l'excellente *Monographie des plantes fossiles du grès bigarré des Vosges;* les autres ont paru aux auteurs que nous venons de citer devoir

être rapportés au *Caulopteris Voltzii* et au *Cottæa Mougeotii*.

M. le docteur Lesaing donne ensuite lecture d'une *Notice sur la statistique du canton de Blamont* (*Meurthe*).

A cinq heures la Société se rend à un grand banquet qui lui est offert par la ville d'Épinal, et auquel assistaient M. le préfet du département, M. le maire, ainsi qu'une partie de la Société d'émulation, et un grand nombre d'autorités et de personnes notables de la ville.

Séance du 12 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à huit heures du soir dans le salon de la mairie de Remiremont, mis à la disposition de la Société par M. le maire de la ville, qui, à son arrivée, la reçoit et la complimente. Ce magistrat assiste à la séance.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

La Société s'est d'abord rendue d'Épinal à Docelles, par Arches et Pouxeux, et sur la route elle a eu l'occasion d'observer le grès vosgien, formant des falaises escarpées à droite et à gauche de la Moselle, et reposant sur le granite commun qui forme le fond de la vallée.

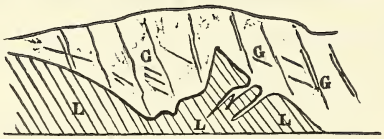
Elle s'est arrêtée à Docelles pour voir, sur la rive droite de la Vologne, et au sommet d'un coteau, les carrières ouvertes dans le leptynite; ce leptynite change d'aspect, non seulement sur des points différents de la même carrière, mais même à quelques décimètres de distance; il est formé de feldspath maclé et lamelleux en cristaux mal déterminés, de quartz grenu ressemblant à de petites globules accolés l'un à l'autre, et de mica; on y observe, en outre, des grenats microscopiques qui sont transparents et d'un très beau rouge; il a une structure gneissique produite par la disposition des lamelles de mica, qui sont répandues dans la roche d'une manière assez inégale.

« En rentrant au village de Docelles, M. Puton fait remarquer près du pont en ruine un massif de granite commun qui surgit au niveau de la rivière, et qui se rattache à un granite iden-

tique qui sert de support au leptynite que la Société vient de visiter. Il ajoute qu'elle aurait pu observer cette superposition si elle avait porté ses pas un peu au delà. »

De Tendon au Tholy la Société a encore observé le leptynite ou ses variétés, qui avaient quelquefois l'apparence d'un gneiss bien caractérisé; dans certains endroits, il est comme veiné ou pénétré de filons quartzeux et feldspathiques.

Dans l'endroit nommé les *Vieilles-Huttes*, la Société a vu le leptynite L présentant parallèlement aux paillettes de mica des plans de division que l'on pourrait, jusqu'à un certain point, regarder comme des indications de strates; il était fortement redressé et recouvert par plusieurs mètres de granite porphyroïde G, ainsi que l'indique la figure 1.



Contact du granite et du leptynite sur la route de Tendon au Tholy.

La séparation du leptynite et du granite était généralement très nette, et avait lieu suivant une ligne de démarcation qu'il était possible de suivre facilement; le granite formait même des filons ayant seulement quelques centimètres d'épaisseur, et qui se distinguaient très bien de la masse du leptynite; dans quelques endroits, au contraire, qui étaient à une petite distance des premiers, la ligne de séparation des deux roches était un peu confuse.

En suivant la route jusqu'au Tholy, la Société a pu observer plusieurs fois la limite du leptynite et du granite, et elle se présente toujours avec les mêmes caractères. En approchant du Tholy, le leptynite prend une couleur rose, et de plus il renferme des taches vertes qui souvent paraissent s'être formées dans les endroits où le mica est aggloméré.

Il résulte de la disposition relative des deux roches que le granite porphyroïde appartient à une formation différente de celle du leptynite, et qu'il est plus moderne.

Arrivée dans la vallée de Cleurie, la Société n'a pu continuer ses observations à cause de la nuit.

M. Puton a la parole pour ajouter quelques mots au procès-verbal.

Il dit qu'il a déjà décrit dans son travail sur les *Métamorphoses des roches des Vosges*, page 34, les faits observés aux *Vieilles-Huttes*, et que, d'après sa manière de voir le terrain du leptynite, il croit pouvoir les expliquer comme il suit :

Le leptynite, se trouvant accolé à un filon granitique, est incliné dans un sens inverse à la projection du filon, c'est-à-dire qu'au lieu d'être redressé par la force de l'injection, il s'est, au contraire, affaissé. La face du filon en contact avec les couches du leptynite ne présente aucun mélange de cette dernière roche; le passage est brusque, on pourrait presque dire qu'il y a un point de soudure, tandis que la face opposée présente un mélange de matières granitiques et leptynitiques, comme il est ordinaire de l'observer. En présence de ces faits, ne peut-on pas supposer qu'au moment du déplacement de la matière granitique, le leptynite s'étant affaissé, il en est résulté une pression considérable sur elle, pression qui a projeté dans les fractions de la roche préexistante la matière granitique, et qui a dû nécessairement s'exercer avec plus de force sur un côté que sur l'autre?

Il est aussi un point sur lequel M. Puton croit devoir insister. Lorsque le granite commun, ordinairement à petits grains cristallisés confusément, se trouve en filons, ou épanché sur une autre roche, il est quelquefois porphyroïde; ce changement d'aspect est dû à cette circonstance, qu'injectée dans une fracture ou répandue sur une roche préexistante, la matière étant moins comprimée que celle de la masse principale sur laquelle une grande pression s'exerçait, le granite a dû trouver des conditions plus favorables au développement de ses cristaux. De là M. Puton conclut que le granite observé aux *Vieilles-Huttes* est un *granite commun*, devenu porphyroïde accidentellement.

M. Collomb, secrétaire, résume à son tour les observations recueillies dans la journée sur les phénomènes erratiques.

Après avoir quitté Épinal, la Société a remonté le cours de la Moselle jusqu'à Jarménil, et a pu remarquer le développement considérable qu'ont pris, dans cette vallée, les terrains

de comblement qui se présentent sous forme de nappe horizontale, où la Moselle, en serpentant d'une rive à l'autre, s'est creusé un large lit à berges escarpées d'environ 10 mètres de hauteur.

Au Tholy, la Société a exploré avec attention la grande moraine frontale décrite par M. Hogard (1842).

Cette moraine forme quatre grandes ondulations ; elle barrait complétement la vallée ; elle s'élève à 100 mètres moyennement au-dessus du ruisseau ; elle a été coupée par les eaux ; les fragments de la rive gauche et ceux de la rive droite se correspondent exactement. Sur le premier pli du terrain, en amont, on remarque peu de blocs à la surface ; mais sur la seconde ondulation les blocs sont répandus sur toute l'arête dorsale à grande profusion : tous sont anguleux, beaucoup de ces blocs ont plusieurs mètres cubes, et la Société a pu en remarquer un entre autres dont le volume a été estimé de 100 à 120 mètres cubes.

En aval du Tholy, sur la route de Remiremont, la Société a remarqué à Saint-Amé une nouvelle série de moraines frontales appartenant au même ancien glacier. Elle a vu que ces moraines, inférieures aux précédentes, et déjà placées à une grande distance de l'origine du glacier (à 30 kilomètres des sommets du Hoheneck), étaient presque en entier formées d'une accumulation considérable de sable fin, avec très peu de fragments volumineux.

Ce sable provient, en grande partie, de la décomposition du grès vosgien. Cette moraine de Saint-Amé présente encore un fait remarquable : les sables qui la composent offrent sur leur tranche verticale des traces de stratification grossière ; les couches sont inclinées en amont et en aval sur un plan parallèle à la surface de la moraine : mais ces couches ne sont pas très nettement accusées, elles sont un peu confuses, comme elles pourraient l'être dans un amas de remblais produit par la main de l'homme.

Séance du 13 septembre 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à sept heures dans le salon de la mairie de Remiremont.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

Aux Traits-de-Roche, la Société a observé un filon d'eurite micacée brune, un peu maculée de vert et qui prend près des salbandes une structure variolitique. Ce filon, qui est encaissé dans le granite commun de la vallée de la Moselle, a plus de 50 centimètres de puissance, sa direction est de 120 à 125° N. (1) E., et son pendage est de 80°. Sur le granite, au contact du filon, on observe des *miroirs* et des traces de frottements remarquables.

Un peu plus loin, dans le même granite de la vallée de la Moselle, on trouve une roche à pâte rouge, contenant des grains de quartz hyalin, ce qui lui donne la structure d'un porphyre avec quartz; cette roche, désignée sous le nom *d'eurite rouge quartzifère*, par les géologues des Vosges, se retrouve dans plusieurs autres localités, et notamment près de la base du Ballon d'Alsace, à Rupt, etc.; dans quelques parties exposées à l'air, elle prend un aspect ligniforme occasionné par des fissures nombreuses et parallèles. Elle paraît former un filon puissant dont on peut suivre la trace sur presque tout le revers du Saint-Mont, et même jusqu'à son sommet.

Du village de Saint-Amé, la Société s'est rendue au Saut de la Cuve, et elle a pu admirer cette belle chute d'eau, qui s'est ouvert un passage étroit au milieu du granite commun. Bientôt après, elle est entrée dans la vallée de Pûtière, où elle a observé plusieurs variétés de leptynite et de granite commun.

En continuant à monter, la Société est arrivée à la Charme et à la Mousse, métairies qui font partie de la contrée appelée

---

(1) Toutes les directions données dans ce compte rendu sont rapportées au N. magnétique.

Sainte-Sabine, où elle a observé des gisements très remarquables de serpentine.

A la Charme, la serpentine a, en général, une couleur verte foncée, ou même tirant sur le noir, mais à la Mousse elle est quelquefois brunâtre; elle renferme de la serpentine noble vert clair ou blanchâtre qui forme des veines dans la roche; elle est remarquable par la présence d'un assez grand nombre de nodules qui lui donnent un aspect variolé; ces nodules sont de composition variable, ce qui doit sans doute être attribué à des pseudomorphoses; tantôt ils sont rougeâtres et compactes, tantôt ils sont verts et radiés : dans ce dernier cas ils sont très tendres, et ils paraissent devoir être rapportés à une variété de chlorite? Ils résistent mieux à l'action atmosphérique que le reste de la roche, en sorte qu'ils forment saillie à sa surface; l'intérieur de la roche n'est d'ailleurs pas atteint par la décomposition qui s'exerce seulement sur une couche extérieure très mince, ayant une couleur brune ocracée.

Les minéraux qui y ont été trouvés sont principalement le chrysotil qui est blanc verdâtre, asbestiforme, à éclat soyeux et qui forme de petits filons ayant généralement quelques millimètres, et dans lesquels les fibres de la substance sont parallèles l'une à l'autre et à peu près perpendiculaires aux salbandes, le carbonate de chaux, l'hydrocarbonate et l'hydrate de magnésie, le fer oxidulé, le mica, etc., etc.

A la Grande-Charme, la serpentine est dans le Leptynite, mais elle est dominée par des couches de grès vosgien sous lesquelles elle disparaît, et sur lesquelles se trouvent en amont de la vallée, des blocs erratiques et anguleux de serpentine.

Cette localité a été étudiée depuis longtemps par les géologues des Vosges, qui ont cherché à déterminer l'âge de la serpentine d'après les particularités de son gisement qui viennent d'être signalées. Une savante controverse s'est élevée à ce sujet entre MM. Hogard et Puton. (Voir *Annales de la Société d'émulation des Vosges en* 1847, p. 421. — *Note sur la serpentine des Vosges par M. Henri Hogard, membre titulaire, et la réplique à cette note par M. E. Puton.*)

En s'avançant sur le plateau du Gris Mouton, la Société est arrivée à la pierre Kerlinkin, monolithe erratique que les anti-

quaires regardent comme un monument gaulois; c'est un énorme fragment de grès vosgien, isolé au milieu de la forêt; il est arrondi sur ses arêtes et redressé verticalement suivant le sens de ses couches.

La Société s'est ensuite rendue au pont des Fées, vaste construction en pierres sèches dont le but et l'époque sont encore incertains; le vallon étroit dont il ferme l'entrée est obstrué par des éboulements de roches qui proviennent des montagnes voisines; toutes celles qui couvrent le revers du Saint-Mont appartiennent au granite commun, tandis que les débris qui couvrent la pente de la montagne opposée paraissent formés par un leptynite gneissique.

Plusieurs membres de la Société ont recueilli des échantillons d'une roche granitoïde à gros éléments qui se trouve en ramifications dans le Leptynite; cette roche est formée d'orthose rosé, de quartz, de mica à grandes lamelles d'un blanc d'argent éclatant, et de tourmaline noire bien caractérisée affectant une forme de prisme triangulaire légèrement modifié sur les arêtes latérales.

Du pont des Fées la Société a gravi le Saint-Mont; près du sommet elle a reconnu la prolongation du filon d'eurite rouge quartzifère qu'elle avait vu le matin au pied de la montagne.

En descendant le Saint-Mont, elle s'est assurée qu'il était entièrement constitué par le granite commun.

Séance du 14 septembre 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à sept heures dans le salon de la mairie de Remiremont.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

La Société a fait le trajet de Remiremont à Plombières; elle a d'abord rencontré le granite commun de la vallée de la Moselle, puis, en approchant de Montaigu, elle a pu observer sur la route plusieurs superpositions de grès vosgien sur ce granite.

Tantôt ce grès vosgien est à l'état ordinaire, c'est-à-dire qu'il présente des cailloux quartzeux réunis par un ciment siliceux ou ferrugineux plus ou moins cohérent et quelquefois même désagrégé; tantôt au contraire, comme la Société l'a observé à Montaigu, il devient très compacte et il se charge de silice; on peut y voir des géodes qui sont tapissées de cristaux de quartz, et en outre dans certaines parties, ses noyaux ont été non seulement réunis par une pâte siliceuse, mais ils se sont en quelque sorte dissous dans cette pâte. Ce métamorphisme remarquable du grès vosgien de Montaigu a été attribué par la Société, soit à une action *ignée* produite par le granite, qui se trouve immédiatement au-dessous de lui et qu'on peut même voir dans le fossé qui borde la route, soit, plus vraisemblablement, à une action *aqueuse* résultant de sources tenant en dissolution de la silice (1).

En approchant de Plombières, on trouve le granite porphyroïde avec orthose blanc, quartz et mica brun noirâtre; il contient aussi de l'andesite rouge, mais en très petite quantité, et il est rare d'en voir des cristaux discernables et bien définis, comme dans les granites porphyroïdes de la Bresse.

Ce granite de Plombières contient en outre quelques lamelles de hornblende.

Il présente une particularité remarquable, qui du reste lui est commune avec beaucoup de granites; c'est de se décomposer sur une grande échelle et de se laisser alors désagréger avec la même facilité que le sable; cette arène du granite a été observée près de la fontaine Amélie et au-dessus de Plombières, sur la route d'Epinal.

« Pour expliquer la décomposition du granite de Plombières, M. Puton dit qu'il serait possible que les eaux thermales et minérales ne fussent pas étrangères à ce phénomène : c'est de ce granite qu'elles sourdent; de la chaux fluatée, de la baryte et une matière onctueuse appelée *savon minéral* y forment des ramifications; ce savon minéral constitue le principe des eaux de la source appelée la *fontaine savonneuse*. Les mêmes faits,

---

(1) Delesse, *Notice sur les caractères de l'arkose dans les Vosges.* — *Bibliothèque universelle de Genève* (mars 1848).

accompagnés de circonstances analogues, s'observent à Bains, où il existe aussi des eaux minérales et thermales. M. Puton ajoute que, toute hasardée que soit cette hypothèse, surtout en raison de la grande masse de granite décomposée qui constitue les montagnes à droite et à gauche de la vallée, on doit reconnaître qu'une action désorganisatrice, dont le foyer est à Plombières même, a attaqué le granite porphyroïde avant le dépôt du grès vosgien. »

Pour retourner à Remiremont par le val d'Ajol, la Société a pris la route de Luxeuil, et arrivée sur le plateau occupé par le grès bigarré, elle s'est arrêtée aux carrières du Montcel; dans sa partie supérieure, le grès jouit d'une grande fissilité, aussi est-il employé pour couvrir les maisons; les habitants le désignent sous le nom de *laves*, et on donne généralement ce nom dans tout le pays, même dans la Franche-Comté, à toutes les roches, quelle que soit leur nature, qui se laissent diviser en plaques minces. Dans sa partie inférieure le grès est en bancs assez puissants pour fournir d'excellentes pierres de taille. Quelques membres de la Société ont recueilli des empreintes de *calamites arenaceus*.

La pluie torrentielle, qui est venue assaillir la Société à son arrivée au val d'Ajol, l'a empêchée d'aller reconnaître la roche qui contient des traces charbonneuses et dont on voit des affleurements sur la route en bas de la côte : suivant les uns, ce serait un gneiss, et suivant d'autres un schiste du terrain de transition (1).

---

(1) Les géologues des Vosges n'ont vu dans le terrain à traces charbonneuses du val d'Ajol qu'un terrain de transition fortement redressé et décomposé; il est caractérisé par des schistes noirs et terreux et par des grauwackes grsssières jaunes et brunes, à pâte feldspathique. Au hameau de Champ, commune de Fougerolles, il repose sur un granite porphyroïde rougeâtre, mais en se rapprochant du val d'Ajol, on le voit recouvrir un gneiss noir très micacé avec lequel il se confond; aux Œuvres, où ont eu lieu les premières recherches de combustibles, il prend plus de puissance, et, près du cimetière, un massif de granite porphyroïde à très grands cristaux d'orthose et avec pinite l'a redressé de nouveau, et a imprimé le même mouvement au gneiss, devenu plus brillant et plus dur. Près des anciennes fouilles des Œuvres, il n'est pas rare de trouver des galets angulaires ou arrondis de granite ou de gneiss entièrement recouverts d'un enduit épais d'an-

La Société se rend ensuite à Faimont, où elle examine les roches qui se trouvent dans cette localité et à une certaine distance dans la vallée ; ces roches, qui sont des grès rouges ou des argiles de couleurs variables, portent toutes des traces visibles d'altération ou de métamorphisme ; il s'y est développé des cristaux de feldspath ; elles sont, dans certaines parties, imprégnées de quartz, de fer oligiste, de baryte sulfatée, etc.; quelques unes sont caverneuses et présentent des amygdaloïdes avec des nodules de carbonate de chaux et des silicates de magnésie.

Les géologues des Vosges ne sont pas d'accord sur l'âge de ces roches : d'après les uns, elles doivent appartenir au *Rothe todte liegende* des Allemands ; d'après les autres, elles correspondent au *vieux grès rouge* des Anglais. MM. Hogard, de Billy et Puton, ont présenté à ce sujet les considérations suivantes à l'appui de leurs opinions.

« M. de Billy ne partage pas l'opinion de M. Hogard, qui consiste à rapporter au vieux grès rouge des Anglais quelques unes des roches de Faimont ; il les croit plus modernes, et les classe dans le grès rouge, *todte liegende* des Allemands.

En examinant les roches aux alentours de Faimont on trouve que les unes sont intactes, les autres altérées.

Les roches intactes sont identiques avec plusieurs de celles qu'on observe habituellement dans le grès rouge de la contrée.

Les roches altérées sont fréquemment traversées par de petits filons de quartz, qui proviennent, sans doute, du puissant filon de la même substance, auquel une partie du bas d'Hérival doit le nom de *Vallée des Roches*. On y voit aussi des géodes tapissées de cristaux de quartz, dont quelques unes avec petits cristaux de fer oligiste.

Le gisement quartzeux qui passe de la montagne en face de Faimont dans celle de la Veiche, et dont les roches abruptes font saillie sur les flancs de deux montagnes, paraît à M. de Billy un filon, puisqu'il l'a suivi en direction jusqu'à l'extrémité N.-E. de la Veiche, où ce gîte se termine brusquement.

---

thracite ; ils proviennent d'une grauwacke anthraciteuse dans laquelle les travaux ont été dirigés. (*Note communiquée par M. Puton.*)

Les roches de cette dernière montagne ne sont pas non plus dans leur état normal; on y observe fréquemment de petits filons, tantôt avec baryte sulfatée, tantôt avec fer oligiste lamellaire ou cristallisé.

A l'inspection des roches avoisinantes, qui toutes appartiennent aux roches arénacées, on reconnaît que le filon les a pénétrées, qu'il a dû les altérer et les bouleverser. Un petit lambeau de grès vosgien a été observé par M. de Billy sur la pente S.-E. de la Veiche, entre le faîte de la montagne et la ferme de Dropt.

En ce qui concerne l'absence des argiles, qui, dans l'opinion de M. Hogard, devraient exister à la base des roches dont il s'agit pour que l'on puisse rapporter celles-ci au *todte liegende*, M. de Billy n'y attache pas une grande importance, d'abord parce que les argiles ne sont pas constamment à la base du grès rouge, ensuite parce que, dans des terrains irréguliers, comme le *todte liegende*, l'absence d'une assise qui se trouve même habituellement dans une position déterminée n'a rien de surprenant; enfin parce qu'on ne saurait s'attendre à une grande régularité de position ou de stratification dans un terrain qui a subi l'action modifiante et soulevante du filon de la vallée des roches.

D'un autre côté, si l'on examine les roches de Faimont, on n'y trouve ni les caractères minéralogiques, ni les fossiles du vieux grès rouge des Anglais.

Le doute serait permis si l'on avait reconnu le vieux grès rouge sur quelque autre point de la chaîne des Vosges, ou bien si le *todte liegende* se trouvait éloigné de Faimont; mais on voit, au contraire, que les roches qui font l'objet de la discussion sont au contact même du *todte liegende*, d'après la carte jointe à la publication de M. Hogard, et l'on sait également que le vieux grès rouge n'a été signalé nulle part dans cette chaîne de montagnes.

En ce qui tient à la superposition des roches quartzeuses sur les granites que M. Hogard dit avoir observée, M. de Billy ajoute qu'il a bien vu des roches sédimentaires, mais non les roches quartzeuses, reposer sur le granite; mais quand même le fait de superposition existerait même sur le grès rouge,

c'est qu'il ne faudrait pas s'étonner de ce qu'une roche d'épanchement paraisse recouvrir des roches sédimentaires qu'elle a traversées.

M. de Billy pense, en principe, que dans l'étude de l'histoire naturelle on doit préférer constamment les explications les plus simples, quand un fait capital ne conduit pas à les rejeter. Or, dans le cas dont il s'agit, aucune considération de quelque valeur ne s'oppose à ce qu'on range les roches de Faimont dans le *todte liegende*, aucune ne milite à ses yeux en faveur de l'opinion du vieux grès rouge.

Ainsi donc la composition et la nature des roches, les preuves certaines de leur altération, les caractères non moins positifs de l'état de filon des roches quartzeuses du bas d'Hérival, le contact du *todte liegende*, l'absence du vieux grès rouge dans la chaîne des Vosges, et les principes qui doivent nous diriger dans l'étude des sciences naturelles, tout se réunit pour faire adopter l'opinion que le terrain de Faimont et de la Veiche appartient au *todte liegende* des Allemands. »

« M. Puton ajoute, à l'appui des observations de M. de Billy sur les faits qui précèdent, qu'il ne croit pas non plus à l'existence du vieux grès rouge dans les Vosges, ce terrain ayant un *facies* particulier qui est loin d'approcher des roches de Faimont. Le dépôt du *todte liegende* a dû être suspendu à des époques diverses, c'est ce qui explique la discordance de stratification dans ses couches, leur rupture et leur surface inégalement dégradée; le grès rouge a dû donc mettre une longue période à se constituer, et pendant cette période il a dû subir toutes les perturbations et tous les soulèvements que l'on reconnaît à cette époque; il est même arrivé que des parties de couches inférieures ont été détruites, et que leurs débris ont servi à constituer la couche immédiatement supérieure, et à former par là des conglomérats argileux et des argiles oolitiques très curieuses. »

M. Hogard, répondant à MM. Puton et Billy, croit devoir présenter les observations suivantes :

« MM. de Billy et Puton pensent que l'arkose fait partie du grès rouge (*rothe todte liegende* des Allemands), et ils fondent leur opinion principalement sur diverses considérations qui ne

sauraient être avantageusement opposées à des faits de superposition.

On a pu omettre de remarquer et de signaler dans les Vosges l'existence d'un terrain intermédiaire entre le *todte liegende* et la grauwacke; mais si ce terrain existe il faudra bien un jour le reconnaître. L'arkose peut être et paraît même une roche modifiée ou métamorphique; mais en l'étudiant sous ce rapport seulement on n'arriverait pas à déterminer sa véritable position. Il est possible que dans tout le système des Vosges la base du *todte liegende* ne soit pas constituée par des argiles; et il n'est pas probable que l'on ait songé à établir cette délimitation d'une manière générale et absolue : les roches considérées *comme représentant* le vieux grès rouge ne renferment pas de traces des fossiles propres à cette formation, cela est bien vrai; mais le terrain considéré comme représentant le zechstein dans le système, le *grès des Vosges*, renferme-t-il quelques débris organiques à l'aide desquels on puisse établir un rapprochement entre la situation dans l'échelle géologique de ces deux terrains.

Il s'agit d'une localité assez circonscrite, dans laquelle le *todte liegende* offre des caractères constants. L'arkose elle-même, séparée en deux massifs principaux, l'un situé au-dessus de Faimont (la Veiche), l'autre s'élevant sur la rive droite de la Moselle, à Dommartin (la Poirie), l'arkose repose sur le granite, ce fait n'est ni contesté ni contestable.

La base du *todte liegende* est constituée par des argiles rouges, violacées; ces argiles reposent tantôt sur les roches granitiques, *tantôt sur l'arkose.*

Le massif d'arkose de la Veiche est presque entièrement enveloppé à sa base, et jusqu'à une certaine hauteur, par ces argiles; mais il est entièrement dégagé sur la côte de la vallée d'Hérival, où l'on peut constater non seulement sa superposition sur le granite, mais encore l'absence dans le massif, depuis le pied jusqu'à son sommet, d'argiles, soit identiques à celles qui contournent la montagne de l'E. au S.-O., soit à l'état métamorphique.

Si l'arkose, qui offre des caractères particuliers, et qui est pénétré de cristaux d'un feldspath analysé par M. Delesse, était une modification du grès rouge, on devrait s'attendre à y ren-

contrer toutes les nuances de composition que devrait offrir un terrain composé de couches si diverses.

Les argiles se relèvent successivement, et se retrouvent en place le long de la base de la montagne d'Hérival, à l'est de la Veiche, sous le grès rouge et sous le grès des Vosges, jusque dans les environs de la Vigotte. Sur les hauteurs de la Beuille, en face de la Poirie, elles sont seules et reposent sur les rochers granitiques. A une hauteur à peu près correspondante de l'autre côté de la vallée, à la Poirie même, elles s'étendent sur la surface supérieure de l'arkose, et disparaissent sous le grès rouge, recouvert lui-même, dans cette dernière localité, par un énorme entablement de grès des Vosges.

Ainsi, *dans toute la contrée* dont il est question, nous voyons la base du *todte liegende* constituée par des argiles, et tellement identiques qu'on ne saurait distinguer dans une collection celles de la Poirie, celles de la Beuille, du Jehard ou de Faimont. Ces argiles reposent tantôt sur les roches granitiques, tantôt sur les parties inférieures, sur les parties moyennes des massifs d'arkose, et finissent à la Poirie par recouvrir la couche la plus élevée de cette arkose. La séparation des deux terrains saurait-elle être plus nettement établie? Il s'agit donc d'un fait de superposition qui n'a pas été assez examiné, mais que l'on ne saurait nier ni détruire. Quant aux détails accessoires, il est inutile d'en parler; que l'arkose soit pénétrée de filons de quartz, de baryte, de fer oligiste, c'est fort peu important ici, puisque nous retrouvons les mêmes accidents en totalité dans le grès des Vosges, et en partie dans le grès bigarré, et l'on ne saurait en tirer aucune conclusion concernant l'âge des terrains qui en sont affectés. Les modifications totales ou partielles des roches ne sauraient non plus permettre d'en reconnaître la classification. Toutefois, on remarquera que certaines argiles de grès rouge modifiées ont été considérées comme des porphyres, mais que dans la localité dont nous nous occupons tout particulièrement ces argiles modifiées ne ressemblent nullement à l'arkose.

On n'a jamais parlé, il est vrai, de l'existence, entre le *todte liegende* et la grauwacke, d'un autre terrain que celui du groupe houiller, dans les Vosges; cependant ce terrain existe,

avec des caractères qui ne permettent pas de le confondre avec la série houillère proprement dite. Quelle sera donc sa place dans l'échelle géologique? Quelle dénomination devra-t-on lui appliquer? On n'aura guère à choisir, puisque nous ne pouvons prendre que *celle du terrain du vieux grès rouge*, surtout si, avec M. de Billy, nous préférons les explications les plus simples et les plus naturelles, c'est-à-dire ici la constatation des superpositions.

Dans la partie nord des Vosges, on voit sous le *todte liegende*, et sur les roches de la grauwacke, par conséquent entre ces deux terrains, un groupe de roches qui n'offre aucun des caractères du dépôt houiller : ce sont des spilites des arkoses. Et les spilites existent en fragments anguleux ou roulés dans les anagénites de la base du grès rouge, ce qui établit entre ces roches une séparation naturelle.

Au val d'Ajol, à la Poirie, cette séparation est indiquée par des superpositions parfaitement visibles; mais on ne saurait juger des relations entre l'arkose et la grauwacke; c'est du moins ce que nous n'avons pu faire jusqu'ici; cependant la grauwacke existe dans cette localité; on en voit deux lambeaux au val d'Ajol, au Moncel et à la Battelicule. Des roches du même groupe se montrent au Thillot, et on en a même reconnu *entre la Reuille et la Poirie*, dans le vallon de Lépange. Le terrain de la grauwacke, à en juger d'après ces lambeaux isolés, s'avançait du val de Faucogney et de Saint-Bresson jusqu'au val d'Ajol, et probablement des massifs de Bussang et de Saint-Maurice jusque dans les environs de la Poirie. Ce terrain ayant été bouleversé et disloqué, nous ne pouvons plus constater ses anciennes relations; mais nous ne saurions nier sa présence dans le voisinage des massifs d'arkose. Nous retrouvons donc encore ici entre ce *todte liegende* et la grauwacke un terrain intermédiaire, terrain qui ne saurait appartenir qu'au groupe carbonifère, et que nous considérons comme formant la base de ce groupe, c'est-à-dire comme représentant le vieux grès rouge, attendu que nous n'entrevoyons nullement la possibilité d'admettre qu'il puisse appartenir à la partie supérieure, à la série houillère proprement dite.

Lors des discussions qui ont eu lieu à ce sujet, on n'a fait

aucunement mention de ces lambeaux de terrain de transition qui se sont conservés comme des preuves irrécusables des rapprochements et des séparations (1) que nous avons établis, et que nous croyons devoir maintenir. »

De la vallée des Roches la Société s'est rendue à Remiremont; pendant ce trajet, et en remontant la côte de Layol, elle a observé dans les escarpements de la route un granite à petits grains décomposé et modifié; un grand nombre de petits filons feldspathiques y sont injectés; ce granite qui diffère beaucoup quant à l'aspect de celui de Plombières se rencontre encore à la Maix d'Olichamp.

Quelques membres ont quitté la Société pour visiter, au sommet de la montagne du Bambois, une carrière de grès bigarré très siliceux que la ville de Remiremont fait exploiter pour ses constructions communales. Ce grès forme un îlot au milieu du grès vosgien, qui le domine à la montagne du Sapenois, dont il n'est séparé que par le vallon de la Maix d'Olichamp.

M. Collomb, secrétaire, rend compte, à son tour, des excursions de la journée.

Plombières et le val d'Ajol. — En quittant Remiremont, par la route de Plombières, la première station de la Société a été sur les moraines d'Olichamp, décrites par M. Hogard en 1842, ensuite par M. E. Royer (*Bulletin*, t. IV, p. 288). Ces moraines, de plusieurs kilomètres de longueur, ont donné lieu à une discussion entre plusieurs membres. MM. Ch. Martins, Hogard et Collomb pensent que ces moraines peuvent provenir des débris de la moraine latérale gauche du grand glacier de la Moselle, déposés sur ce point à une époque où ce glacier s'étendait à 4 kilomètres en aval de Remiremont.

M. E. Royer a communiqué à la Société la note suivante, relative à de nouvelles observations qu'il a faites sur les moraines d'Olichamp.

Depuis la communication que j'ai faite dans la séance du 7 décembre 1846, il n'y a plus de doute possible sur l'existence

---

(1) *Description du val d'Ajol*, 1844, 1845. — *Annales de la Société d'émulation des Vosges.*

d'un grand glacier remplissant tout le bassin supérieur de la Moselle, et c'est lui, ou plutôt un de ses rameaux, qui a produit la moraine d'Olichamp.

L'existence de ce grand glacier peut cependant paraître incompatible avec l'existence de glaciers moindres qui auraient produit les moraines du Tholy, de Saint-Amé, de Rupt, du lac de Fondromé, de la Grande-Courrue, de Lispach, etc.; mais il faut observer que ce grand glacier, depuis sa plus grande extension jusqu'à sa disparition, a dû passer par plusieurs périodes de décroissance, et on peut notamment en indiquer trois.

La première époque est celle où le glacier, occupant un immense espace, et s'élevant à une hauteur considérable, couvrait comme une nappe toutes les vallées et les sommets principaux qui environnent le bassin de la Moselle, où l'on retrouve la preuve de sa présence dans le terrain de transport et les blocs erratiques si nombreux qu'il y a laissés. Ces matériaux étaient puisés par lui dans quelques prés isolés restés émergés, et dans les plateaux de la crête centrale qui le dominaient. Son immense extension et le peu d'étendue du terrain qui lui fournissait ces débris, comparativement à sa propre diminution, doivent faire croire que les moraines de cette époque étaient peu importantes, ou plutôt moins bien caractérisées quant à la forme que dans les formes suivantes.

La seconde serait celle où, ayant déjà perdu de ses dimensions colossales, il était contenu dans les vallées, et limité par les montagnes qui les flanquent; sa branche principale s'étendait alors très probablement jusqu'au delà de Remiremont, vers Epinal. C'est l'époque où il poussait des rameaux dans les vallées voisines au sud-ouest par les cols qui n'étaient point trop élevés, notamment par celui d'Olichamp.

La troisième enfin serait celle où le glacier n'occupait plus que le fonds des vallées, ou plutôt où il s'était divisé en autant de glaciers partiels qu'il y avait de vallées affluentes; c'est plus ou moins tôt dans cette dernière période que se sont formées les moraines de Saint-Amé, du Tholy, de Rupt, de Fondromé, de Lispach, de la Grande-Courrue et autres. Le fonds de la vallée de la Moselle, aux environs de Remiremont, était alors déjà débarrassé des glaces, et les moraines qu'y avait déposées le glacier commençaient à être remaniées par les eaux. Telle est, je crois, l'explication simple et analytique de ce grand et important phénomène dans cette partie des Vosges, phénomène auquel des études détaillées vont, je ne puis en douter, donner la consistance d'un fait désormais consacré dans la science.

M. Ch. Martins répond à M. Royer que le phénomène des moraines et des blocs erratiques déposés sur l'arête d'un col se rencontre fréquemment dans les Alpes ; il cite un fait analogue près de Mégèse, sur le col qui sépare la vallée de l'Aroc de celle de l'Isère.

A la croix de Vargottes, point situé sur le col qui sépare le val d'Ajol de la vallée de la Moselle, la Société a remarqué des blocs erratiques de granit provenant des environs du lac de Fondromé, à plusieurs kilomètres en amont, et qui reposent ici sur les assises supérieures du grès vosgien. — M. Hogard a signalé la position de ces blocs dans son *Mémoire sur le val d'Ajol*, 1841-1845, p. 78 ; il rappelle que, pour parvenir au point où ils se trouvent aujourd'hui, ils ont dû franchir en ligne droite les vallons des Mourots, du Gravier de la Divière, et les vallées du Gihard et d'Hérival, puis les montagnes qui séparent ces dépressions, et dont les flancs sont moyennement inclinés de 25 à 30 degrés. L'examen d'un profil relevé suivant cette direction fait comprendre qu'on ne saurait s'arrêter un seul instant à l'hypothèse d'un transport par les eaux. En effet, de la côte moyenne du point de départ, un bloc entraîné, après être descendu dans le fond de plusieurs vallons très profonds, se serait relevé à la côte 710 mètres au Girmont d'Ornous, serait redescendu, etc., jusqu'à ce profil.

Séance du 15 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à 7 heures dans le salon de la mairie de Remiremont.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

La Société s'est d'abord arrêtée à la Poirie, où elle a pu observer de nouveau le granite commun de la vallée de la Moselle.

La base de la montagne au pied de laquelle est bâti le village, appartient à un terrain de grès dont l'âge a encore donné

lieu à de savantes controverses, semblables à celles qui ont été rapportées dans le compte rendu de la séance du 14, à l'occasion du grès de Faimont, situé dans la vallée du Val d'Ajol.

Quel que soit le terrain auquel cette roche doive être rapportée, elle présente bien tous les caractères d'un grès, mais ce grès a subi de notables modifications et on peut très bien lui appliquer la dénomination d'*Arkose*.

On remarque en effet qu'il est formé de grains de quartz réunis par un ciment verdâtre ou blanchâtre à la partie inférieure, et d'un rouge d'oxyde de fer à la partie supérieure; à différentes hauteurs dans la colline, on observe en outre des couches alternativement rougeâtres et verdâtres d'argile rubanée, qui par sa structure ainsi que par sa compacité, porte comme le grès des traces de modifications : sa teneur en eau n'est que de 2 0/0; comme elle est toujours beaucoup plus grande dans les argiles à l'etat ordinaire, le métamorphisme de l'argile doit avoir été accompagné d'une élévation de température.

Des cristaux de feldspath se sont développés dans le grès, surtout à sa partie inférieure, et ils forment comme un ciment réunissant très fortement ses diverses parties, en sorte qu'au premier abord ce grès ressemble complétement à une roche granitoïde. L'analyse de cristaux de ce feldspath extraits d'un échantillon d'arkose, pris à la partie inférieure de la colline de la Poirie, a donné silice 64,57, — alumine avec traces d'oxyde de fer 18,98, — protoxyde de manganèse, traces, — chaux 0,58, — magnésie 0,30, — potasse 12,69, — soude 1,59, somme totale = 98,71. Ce feldspath est donc de l'*orthose* ayant une composition identique à celui des granites, et par conséquent on est conduit à ce résultat très important relativement à *l'origine métamorphique des roches granitoïdes*, que le feldspath orthose peut se développer dans des grès qui se trouveraient dans des circonstances géologiques telles que celles qui ont donné lieu à la formation de l'arkose (1).

L'arkose de la Poirie est d'ailleurs traversé par de nom-

---

(1) Voir, pour de plus amples détails, *Bibliothèque universelle de Genève* (mars 1848). — *Notice sur les caractères de l'arkose dans les Vosges, par M. Delesse.*

breux filons de quartz, qui dans certaines parties ont en quelque sorte imbibé toute la roche de silice, et avec lesquels on observe du sulfate de baryte crêté d'une couleur blanche ou rosée, du fer oligiste, de la chaux fluatée ou des empreintes de cristaux détruits qui lui appartiennent; ces minéraux tapissent des fissures ou les parois de filons qui pénètrent la roche dans tous les sens sans avoir une direction déterminée.

A mesure qu'on s'élève sur la colline de la Poirie, les caractères de l'arkose se perdent peu à peu, les cristaux d'orthose, qui deviennent de plus en plus rares, finissent peu à peu par disparaître et bientôt on n'a plus qu'un grès ordinaire qui est le grès rouge auquel succède le grès vosgien.

En se dirigeant sur la grande route, la Société a observé plusieurs massifs de granite commun qui s'élèvent au-dessus des attérissements de la vallée de la Moselle; c'est sur ce même granite que s'appuie le terrain d'arkose de la Poirie.

En allant de Rupt au lac de Fondromé, la Société observe principalement la variété de granite, dite *granite porphyroïde* des Vosges; ce granite présente des cristaux d'orthose blanc mâclé comme celui de la syénite, de l'andesite rouge qui est mâclé à la manière de l'albite, une assez grande quantité de mica qui lui donne une couleur foncée et l'aspect bien porphyroïde, parce que les cristaux blancs de l'orthose se détachent d'une manière très nette de la masse; ce granite contient aussi des cristaux allongés et vert noirâtres d'amphibole hornblende, surtout en approchant de Fondromé.

A droite du lac de Fondromé, la Société observe plusieurs variétés de leptynite bien caractérisé et ressemblant à plusieurs de celles qui ont été observées près du Tholy.

Sur la gauche du lac, au contraire, on trouve une diorite schistoïde avec délit, qui est très sonore et très résistante sous le marteau; cette variété de diorite qui est au contact du leptynite, ne se fond cependant pas avec lui, et il n'est pas rare de trouver des échantillons où la séparation des deux roches est tracée par une ligne assez nette; elle a la couleur verte foncée de la hornblende, et on n'y observé qu'accidentellement quelques cristaux d'un feldpath du 6e système; mais un peu plus loin, la diorite est bien granitoïde, et les cristaux de hornblende

et de feldspath sont complétement séparés : la diorite présente en outre dans des druses des cristaux très nets d'albite.

Au sommet du bassin dans lequel est situé le lac de Fondromé, on rencontre, sur le chemin qui conduit à la Beuille, un gneiss noirâtre très micacé, qui est pénétré çà et là par le granite porphyroïde.

« M. Puton regarde la diorite schistoïde de Fondromé comme une roche métamorphique ; en voyant le gneiss tout près de là il n'hésite pas à la faire dépendre de cette formation. Il dit que si le sol était dépouillé des cultures et des prairies, on verrait probablement le passage se faire. Le gneiss a très peu de feldspath, il est noir, très micacé ; il est très fissile et sa cassure est unie ; quand on le compare à la roche dioritique de Fondromé, on lui reconnaît une grande similitude, abstraction faite de la couleur et de l'amphibole qui remplace le mica. M. Puton trouve dans les Vosges des faits qui ont une certaine analogie avec ce qui s'est passé ici : le gneiss avec graphite de Wisembach et de Sainte-Marie aux Mines où le graphite a pris la place du mica, et le gneiss talqueux de la côte d'Anould où le talc et la stéatite remplacent le mica. On voit aussi des roches de la grauwacke avec amphibole ; d'ailleurs n'a-t-on pas de nombreux exemples de gneiss et de micaschistes avec d'autres silicates alumineux, tels que la tourmaline, le disthène, la staurotide, les grenats, etc. »

A la Beuille, la Société a visité plusieurs carrières ouvertes dans une argilolithe appartenant au grès rouge et qui repose sur le granite porphyroïde ; cette argilolithe se rencontre dans plusieurs parties de la chaîne des Vosges et notamment à Ronchamp, dans la Haute-Saône, où elle recouvre le terrain houiller. Elle a une couleur rougeâtre et elle est parsemée de taches blanchâtres ou verdâtres ; elle présente des cavités de forme irrégulière et qui sont remplies par une substance verdâtre, très tendre, très onctueuse au toucher et qui doit être un hydrosilicate d'alumine et de magnésie : quand cette substance a été enlevée par l'action atmosphérique, l'argilolithe est caverneuse et elle prend l'aspect carié de la meulière. Elle est exploitée pour la construction des foyers réfractaires, sous le nom de *pierre à four*.

En se dirigeant vers la Croisette, on ne tarde pas à rencontrer des affleurements de grès rouge recouverts par le grès vosgien.

Dans la vallée de Lépange, sur le revers qui regarde la Beuille, un lambeau de terrain de transition est adossé contre le granite; il est formé de schiste gris noirâtre, qui se divise en feuillets minces comme celui de Bussang avec lequel il a une certaine analogie; il renferme des cristaux et des veines de chaux carbonatée et de fer oligiste.

Relativement à ce terrain de transition, M. Jourdan fait observer, en réservant toutefois son avis définitif jusqu'à ce qu'il ait eu l'occasion de le voir et de l'étudier d'une manière plus complète, qu'il pourrait se faire que le terrain de transition des Vosges dût être rapporté au terrain du calcaire carbonifère, ainsi qu'il l'a démontré par l'étude paléonthologique des terrains de transition développés dans le Lyonnais.

MM. Puton et de Billy objectent que jusqu'à présent on n'a trouvé dans le terrain de transition des Vosges aucune formation calcaire qui puisse être rapportée au calcaire carbonifère.

M. Delesse fait observer en outre, qu'à la mine de houille de Ronchamp, on a traversé à plusieurs reprises toute l'épaisseur du terrain houiller; or il a été constaté que ce terrain, formé uniquement de schistes micacés et de grès houillers, repose en stratification discordante sur le schiste de transition, et sans qu'il y ait aucune formation calcaire intermédiaire.

M. Ch. Martins rend compte à la Société des observations recueillies dans ses courses du 15.

Le mercredi 15, la Société s'est rendue à Rupt, dans la propriété de M. Forel, où elle a reconnu la roche moutonnée et striée décrite par M. Hogard. Les membres de la Société qui ont eu l'occasion de voir les roches striées des environs du Grimsel, en Suisse, ont été frappés de l'identité parfaite qui existe entre ces deux manifestations du même phénomène.

De Rupt la Société s'est rendue au lac de Fondromé, lac barré par une ancienne moraine semi-circulaire, comme une haute digue qui en retient les eaux. Un large créneau donne issue au ruisseau actuel. Ce lac et cette moraine ont été l'objet d'un travail de M. Hogard (1840-1842).

Séance du 16 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à deux heures, dans le salon de la mairie de Remiremont.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la Société à Ranfaing, qui a été de courte durée à cause du mauvais temps.

La Société a observé à Ranfaing de belles carrières ouvertes dans une roche granitoïde grenue qui paraît devoir être rapportée au leptynite; le plus généralement elle a une couleur blanche; quelquefois cependant elle est légèrement rosée ou maculée de vert; elle est riche en quartz, qui semble y former de petits globules; on y observe, en outre, des grenats rougeâtres ou brunâtres transparents, ou au moins translucides, qui sont parfaitement caractérisés; quelquefois aussi il y a de la pinite, et alors les grenats qui sont brunâtres ont plusieurs millimètres de diamètre; dans quelques échantillons exceptionnels, la roche est même presque entièrement formée de pinite et de grenats : cette pinite est verte et nettement cristallisée; elle se décompose par l'action de l'air; elle devient alors jaune brunâtre, et la variété de la roche dans laquelle elle se trouve se désagrége avec beaucoup de facilité. Le leptynite passe d'ailleurs à un gneiss formé de quartz, de feldspath rose très abondant et de mica vert.

A Ranfaing, comme sur la route du Tholy, on peut observer le contact du granite avec le leptynite, au milieu duquel il a fait irruption d'une manière violente, et dont il empâte des fragments anguleux.

Enfin il y a aussi de la diorite qui a tantôt la structure porphyroïde et tantôt la structure gneissique.

Dans les mêmes carrières, la Société a vu encore plusieurs filons d'eurite compacte ayant une largeur de 1 à 2 mètres, dont la direction moyenne est de N. 265° à 270° E., et dont le pendage, dirigé à peu près du S. vers le N., est de 70°. Cette eurite a une pâte feldspathique brun rougeâtre parsemée d'un peu de mica; on y remarque des lamelles de carbonate de chaux, et des taches vert foncé à aspect pailleté et à contours mal dé-

finis, qui paraissent être produites par de la chlorite à base de fer, ou par du ripidolithe. Cette roche a été appelée par les géologues des Vosges : *Eurite tigrée.*

De retour à Remiremont, la Société s'est rendue chez M. Puton, où elle a consacré quelques instants à l'examen de ses collections minéralogiques et géologiques *des montagnes des Vosges.*

M. Collomb, secrétaire, résume à son tour les observations recueillies dans la journée.

Le 16, une pluie diluvienne n'a pas permis à la Société de faire des courses un peu longues, cependant quelques membres se sont transportés à 4 kilomètres en aval de Remiremont, sur la route d'Épinal, pour examiner la grande moraine terminale de l'ancien glacier de la Moselle. Cette moraine correspond à l'époque de la plus grande extension des anciens glaciers; elle est située à 40 kilomètres des sommets du Hohenuk et du Drumont, qui envoyaient les matériaux arrachés de leurs flancs jusqu'au talus terminal, à Longuet, comme nous venons de le dire, à 4 kilomètres en aval de Remiremont. Cette moraine barre la vallée transversalement sur une ligne de 200 mètres environ; elle forme une série d'ondulations, de petits monticules allongés, dont l'axe principal est perpendiculaire à l'axe de la vallée de la Moselle; elle a 80 mètres de hauteur verticale au-dessus du lit de la Moselle. Les matériaux accumulés sur ce point sont entassés sans ordre, sans triage, selon le volume; les sables, les graviers et les gros blocs sont confondus dans le même amas. Les blocs et les galets sont presque tous arrondis et usés, cependant quelques uns d'entre eux ont conservé la vivacité de leurs angles. Quant à la nature pétrographique des matériaux, on trouve sur cette moraine des échantillons nombreux des roches qui font partie du bassin supérieur. Néanmoins, MM. Ch. Martins, Hogard et Collomb ont fait remarquer que les roches provenant des points les plus éloignés de ce bassin, les schistes de Bussang et les syénites du Ballon manquaient, ou du moins y étaient fort rares. Cette absence de roches qui devraient se trouver sur la moraine terminale inférieure du grand glacier, d'après les lois connues du mouvem ent

des matériaux à la surface d'une mer de glace, n'est pas une exception particulière à la moraine dont il est question ; elle se remarque sur presque toutes les moraines inférieures des grandes vallées des Vosges. Ce fait s'explique en admettant qu'à une époque de grande extension les glaces n'encombraient pas seulement le fond des vallées, mais qu'elles couvraient tous les sommets élevés de la chaîne. Si les glaces formaient une calotte par-dessus tous les ballons (1), il est évident que les moraines superficielles devaient être à peu près nulles. Dans l'état actuel des choses, sur les principaux glaciers des hautes régions de la Suisse, on en remarque quelques uns dont la surface est presque en entier couverte de débris de roches, qui s'allongent, s'étalent et se tassent vers les talus terminaux. Ces glaciers sont dominés par des pics abruptes de 1,000 mètres d'élévation, et quelquefois au delà; ces pics sont en général formés de roches granitiques ou schisteuses, qui se détachent en fragments et se séparent facilement de la masse principale. C'est ainsi que les moraines superficielles se trouvent abondamment pourvues de matériaux.

Mais si, par hypothèse, nous supprimons les pics abruptes, et que nous les remplacions par un système de montagnes aux formes arrondies et moutonnées, par les ballons des Vosges, et que, par-dessus ces ballons, nous construisions une calotte de glace correspondant à une époque de grande extension de nos anciens glaciers, nous aurons pour résultat d'un système pareil des moraines superficielles tout à fait nulles à l'origine du glacier ; elles ne commenceront à se montrer à la surface qu'à la distance de plusieurs kilomètres en aval, et elles ne seront alimentées que par les matériaux arrachés par le glacier sur son fond et sur ses flancs ; les débris provenant des points culminants de la chaîne seront rares sur les moraines frontales infé-

(1) L'hypothèse d'une calotte de glace couvrant les points culminants d'une chaîne n'est pas si loin de la réalité qu'on pourrait le supposer; il existe dans les Alpes des exemples pareils. En 1844, MM. Agassiz, Desor et Dollfus, ayant entrepris l'ascension du Galenstock, pic situé en amont du glacier du Rhône, éprouvèrent les plus grandes difficultés pour arriver au sommet; le pic supérieur était en entier couvert de glace, non point de névé durci, mais de véritable glace des glaciers.

rieures. Ainsi s'explique l'absence de fragments de syénite du ballon, et de schistes de Bussang qu'on remarque parmi les débris de roches de la moraine de Longuet.

Une autre conséquence à tirer de cette extension des anciens glaciers par-dessus les sommets élevés de la chaîne des Vosges, et du mode d'alimentation des moraines superficielles à cette époque, est relative à *la forme des matériaux*. Sur la moraine de Longuet presque tous les débris sont arrondis et usés, les blocs d'un fort échantillon manquent, ceux mêmes mesurant un mètre cube y sont rares, et ceux dont les angles ont conservé leur vivacité y sont distribués avec parcimonie. La grande masse des débris se compose de sable et de galets quartzeux, provenant de la désagrégation des roches cristallines, et surtout du grès vosgien. Si l'on compare cette moraine avec celles en activité de la Suisse, qui sont formées presque en entier de matériaux anguleux, on est frappé de la différence, et l'on serait tenté de donner à nos moraines vosgiennes une origine diluvienne. — Mais si l'on prend en considération le moyen de transport employé par la nature; si, avant d'arriver au point de débarquement où nous les retrouvons aujourd'hui, ces débris ont effectué leur voyage en partie emprisonnés dans l'intérieur des masses de glace, et ensuite seulement à la surface du glacier, on comprendra que, pendant toute la première période, ils auront été broyés et usés, et n'arriveront au terme de leur course que réduits à l'état de sable, ou fortement écornés et usés.

Un autre caractère négatif de cette moraine, et qu'il n'est pas inutile de signaler, parce qu'il s'applique à la plupart des dépôts erratiques du versant occidental des Vosges, consiste dans *l'absence complète de galets rayés;* on en chercherait en vain à la moraine de Longuet : on y trouve des galets quartzeux couverts encore d'une poussière impalpable entremêlée de grains de sable, qui n'est autre chose que la boue du glacier, mais de rayés ou striés, point. M. Collomb, qui s'est occupé en 1846 de la distribution des galets rayés dans les dépôts erratiques, et qui a fait à cet égard des recherches comparatives en Suisse et dans les Vosges, est arrivé à cette conclusion : que les galets ne conservent le trait de burin imprimé sur leur surface que

lorsque le galet est formé de roche dont le degré de dureté est tel qu'il se laisse facilement entamer. « Pour que le galet se » couvre de stries, il faut nécessairement admettre dans le ter- » rain erratique l'existence simultanée de deux roches d'un » degré de dureté différent : l'une faisant l'office de burin, et » l'autre assez tendre pour recevoir l'empreinte (1). »

Ainsi donc, si dans les dépôts erratiques du versant occidental on ne rencontre pas de galets rayés, ce fait provient de ce que la roche de sédiment est fort rare dans les bassins supérieurs, sauf le grès vosgien et le grès bigarré, qui se rencontrent en masses considérables dans les environs de Remiremont, mais qui ont été désagrégés et non rayés par le mouvement des anciens glaciers; les massifs se composent de granite, de granite porphyroïde, de syénite, de différentes variétés de porphyres, d'eurites, de serpentines, etc., toutes roches trop dures, trop compactes pour que les galets qui en proviennent aient été susceptibles de recevoir des empreintes burinées.

MM. Schimper, conservateur du Musée d'histoire naturelle de Strasbourg, et Antoine Mougeot, docteur en médecine à Bruyères, font hommage à la Société de leur *Monographie des plantes fossiles du grès bigarré de la chaîne des Vosges*, 3 parties in-4, avec 40 planches imprimées en couleur, 1844.

M. Tocquaine, pharmacien, fabricant de produits chimiques à Remiremont, offre à la Société des échantillons de sulfate et de citrate de magnésie, ainsi que de magnésie blanche, préparés avec la magnésie extraite de la serpentine des Vosges.

La Société entend ensuite la lecture des Mémoires suivants :

1° *Note sur quelques fossiles nouveaux, rares ou déterminés d'une manière incertaine, de la formation du trias de la chaîne des Vosges*, par M. le docteur Antoine Mougeot.

Végétaux fossiles. — Depuis la publication de la *Monographie des plantes fossiles du grès bigarré de la chaîne des Vosges* dont

(1) *Preuves de l'existence d'anciens glaciers dans les vallées des Vosges*, par E. Collomb, p. 25. 1847. In-8.

nous avons l'honneur d'offrir un exemplaire à la Société géologique, nous n'avons rencontré dans ce terrain aucune fronde nouvelle de fougères, dont le nombre reste fixé à neuf espèces, proportion considérable et presque moitié de la totalité des végétaux actuellement déterminés dans le grès bigarré ; mais on a découvert à la partie supérieure du muschelkalk de Sainte-Anne, près Lunéville, dans un calcaire sableux voisin du keuper, des empreintes végétales que M. Perrin, investigateur si zélé des environs de cette ville, a eu l'obligeance de nous communiquer, et parmi lesquelles nous avons eu le plus grand plaisir à reconnaître une espèce nouvelle de Névroptéris que nous lui dédions.

Le *Nevropteris Perrini* est tout à fait distinct du *N. Gaillardoti* du même terrain ; sa fronde est bipennée ; et à en juger par la longueur des pennes, elle devait avoir des dimensions assez considérables. Les pennes sont alternes, insérées obliquement sur le rachis et légèrement arquées, les pénules sont opposées, imbriquées, de forme arrondie et très courtes ; la nervure médiane se divise de suite en un grand nombre de nervules dichotomes bien marquées.

Zoophytes. — Les débris fossiles de zoophytes, si communs dans les groupes du terrain jurassique et crétacé, le sont beaucoup moins dans le sol primaire et secondaire inférieur ; pour le muschelkalk particulièrement on n'avait jusqu'alors que des notions très vagues sur les restes d'animaux.

De La Bèche énumère dans son Catalogue un *Astrea pediculata* du muschelkalk sans indication de localité ; depuis il a été reconnu que cette espèce appartenait à la craie ; M. Boué, un lithodendron très rare dans le calcaire coquillier du Vicentin. C'est dans ces dernières années seulement que MM. Perrin, de Lunéville, et d'Archiac, ayant fait voir à M. Michelin deux fragments de polypiers, il a pu les figurer et décrire dans son bel ouvrage sous le nom de *Spongia triasiaca* et *Sarcinula Archiaci*. Ces deux espèces et l'*Astrea polygonalis* sont les seuls représentants de ce groupe d'animaux inférieurs dans la formation triasique.

Une nouvelle espèce de sarcinule a été découverte à Girecourt (Vosges) l'an dernier ; elle diffère notablement de celle de Magnères (Meurthe). Elle se présente sous la forme d'une masse rétéporée, à tubes rapprochés, étroits, divergents, entrecoupés par des diaphragmes qui forment avec les rayons des cellules d'un millimètre et demi environ de longueur sur un millimètre de largeur, ayant beaucoup d'analogie avec les mailles d'un réseau, d'où le nom de *Sarcinula reticulata* que nous pensons lui convenir. Chaque diaphragme, qu'il est difficile d'étudier dans l'échantillon que nous

possédons, est perforé de quatre ouvertures allongées et s'entrecoupant crucialement.

Une autre espèce de zoophyte du genre *Turbinolia* a aussi été rencontrée en 1846, à Rehainvillers, près Lunéville, dans le muschelkalk, par M. Lebrun.

Cette espèce est petite, de forme conique, marquée de douze stries longitudinales profondes, la base en est circulaire.

Le zèle que ce jeune géologue déploie nous engage à la lui dédier sous le nom de *Turbinolia Lebruniana*.

Radiaires. — Dans la classe des Radiaires, nous avons décrit et figuré dans le troisième cahier des *Annales de la Société d'émulation des Vosges* (1842) une nouvelle espèce d'ophiure, genre de radiaire échinoderme dont nous n'avons pu retrouver de nouveaux individus.

Les deux espèces connues dans le muschelkalk sont figurées dans Goldfuss, et proviennent du Wurtemberg et du grand-duché de Bade. Celle que nous avons trouvée à Padoux (Vosges) a quelque analogie avec l'*Ophiura loricata*, mais elle en diffère par la forme des écailles latérales, la disposition des pièces intercalées à la partie inférieure du corps entre ces écailles, et surtout par la longueur des bras, qui sont grêles, aplatis, subulés, au lieu d'être arrondis et larges à la base, lancéolés en un mot, comme dans l'*Ophiura loricata*.

Nous avons désigné cette espèce nouvelle sous le nom d'*Ophiura vogesiaca*.

Mollusques. — Parmi les mollusques, le genre *Ostrea* présente de grandes difficultés de détermination spécifique, à raison de l'irrégularité du test; cependant après l'*Ostrea difformis*, commun dans toute la formation, je citerai l'*Ostrea decemcostata* (Münster), dans le gré bigarré de Ruaux, et le *multicostata* (Münster), dans le muschelkalk de Dampierre (Vosges).

Pecten. — Dans la première division du genre Pecten (ceux dont les tests sont striés), nous avons rencontré deux espèces qui nous semblent nouvelles. L'une, provenant du gré bigarré de Fontenay, offre des stries divergentes, du sommet à la base, très peu prononcées et très fines; ce qui la rapproche beaucoup du *Pecten tenuistriatus* de Münster, coquille appartenant au lias. Cette circonstance et quelque différence dans la forme générale, qui est oblique, nous déterminent à la désigner sous le nom de *Pecten obliquus*. L'autre, se trouvant communément dans le calcaire coquillier de Dompierre et Padoux (Vosges), présente des lignes concentriques depuis les crochets jusqu'aux bords, et quoique la

forme soit à peu près la même que celle du *Pecten discites*, le caractère est tellement tranché, qu'il ne peut laisser aucun doute sur la différence. Nous proposons de le désigner sous le nom de *Pecten concentricus*.

Spondylus. — L'espèce désignée actuellement par Goldfuss sous le nom de *Spondylus comtus* est généralement confondue avec l'*Ostralites spondyloides* de Schlotheim ; des échantillons pourvus de tous les caractères génériques déterminèrent Goldfuss à la ranger dans le genre Spondyle. Les individus jeunes de cette coquille n'ont que des oreillettes rudimentaires ; le bord marginal de la valve droite seulement est garni d'épines qui sont ordinairement détruites à cause de leur fragilité. Le *Spondylus comtus* est assez commun dans le grès bigarré supérieur de Ruaux.

Avicula.—L'*Avicula acuta* est une espèce propre jusqu'à présent au grès bigarré ; c'est le *Gervilia acuta* de Sowerby. L'identité de ces deux espèces ne me semble pas très bien démontrée. En effet, le caractère spécifique de cette dernière, *Ala antica acuta*, n'est pas exact pour l'espèce du grès bigarré ; l'aile antérieure est plutôt tronquée et recourbée que pointue : il s'ensuivrait qu'il faudrait plutôt en faire une espèce particulière ou au moins une variété *truncata*.

L'*Avicula Bronii* est commune dans toute la formation, dans les couches argileuses et posidonies de Soultz-les-Bains et de Ruaux, comme dans les grès supérieurs. Il ne faut pas la confondre avec l'*Avicula Alberti* (Münster), dont le test est lancéolé très oblique, et l'aile postérieure obtuse, tandis que celle de l'*Avicula Bronii* forme un angle droit. Cette dernière espèce présente trois variétés de forme bien distinctes. L'une, la plus commune, est presque lisse ou à peine striée de lignes concentriques ; la seconde est striée plus profondément, les côtes saillantes sont espacées par des intervalles plus que doubles ; dans la troisième variété, l'aile antérieure est toujours aiguë, mais la postérieure est très grande et falciforme.

L'*Avicula crispata* de Goldfuss est plus rare que la précédente, et propre jusqu'à présent au muschelkalk ; l'aile antérieure est plus droite que dans l'*Avicula Bronii*, et les lignes concentriques, éloignées l'une de l'autre, comme dans la variété de l'espèce précédente, présentent des ondulations régulières ; dans une variété jeune de cette espèce, qui n'est pas figurée dans Goldfuss, il existe des côtes rayonnantes très prononcées et des lignes concentriques, dont les ondulations correspondent aux côtes. Cette variété devrait être regardée comme l'espèce type, et la figure de Goldfuss,

comme la variété. Il est, en effet, évident que les festons des lignes concentriques ne sont que le résultat du passage de ces lignes sur des côtes saillantes qui ont disparu dans l'espèce figurée dans Goldfuss.

Une autre espèce d'avicule, qui ressemble exactement à l'*Avicula elegans* (Münster) de l'oolithe ferrugineuse, et des grès du lias de Bantz, se rencontre aussi, mais rarement, dans le grès bigarré. Nous n'osons nous prononcer sur cette singulière anomalie; toutefois, nous ferons observer que le grès de Bantz n'est pas bien caractérisé comme appartenant au lias, et qu'il pourrait dépendre du keuper, ce qui expliquerait alors la présence de cette coquille dans le grès bigarré.

Arca. — Il existe, à l'égard de l'*Arca inæquivalvis*, une incertitude de position analogue à celle de l'espèce précédente. Mentionnée par M. Boué comme appartenant au muschelkalk, indiquée par Goldfuss, seulement dans les marnes du lias à Bretzfeld, et aux environs de Gœppingue, elle a été rencontrée par MM. Guibal et Lebrun dans le muschelkalk de la Meurthe, sous forme de moules indéterminables. L'échantillon que je dois à l'obligeance de M. Perrin, de Lunéville, provient aussi du calcaire coquillier de Sainte-Anne; il est complet et bien caractérisé, et me semble trancher la question.

Nucula. — On trouve fréquemment dans les marnes du muschelkalk de Dompierre (Vosges) plusieurs moules de nucule dont la détermination spécifique et très difficile; cependant nous avons reconnu plusieurs formes assez distinctes pour les rapporter aux espèces suivantes :

Nucula incrassata, Münster.
— *elliptica*, Goldfuss.
— *lineata*, id.

Lyrodon. — Aux deux espèces de *Lyrodon*, *vulgare* et *curvirostre*, indiquées dans la liste des fossiles du grès bigarré, il faut ajouter les suivantes :

Lyrodon orbiculare, très commun; *Lyrodon ovatum* et *lævigatum*, dans le grès bigarré de Fontenay et Aydoiles.

Isocardia. — Assez rare en espèces fossiles; on en cite cependant dans le calcaire primaire, et un certain nombre dans le calcaire jurassique, mais pas dans le trias. Le moule que vous avez sous les yeux provient du muschelkalk de Girecourt; c'est bien celui d'une isocarde.

La coquille est ventrue, cordiforme; les crochets sont distants

et retournés sur eux-mêmes. Nous lui donnerons le nom de *triasiaca* qui indique son origine.

Myacites. — Parmi les espèces non déterminées du genre Myacites, qui se rencontrent très fréquemment dans le trias du système des Vosges, nous avons reconnu les *Myacites ventricosus*, *musculoides*, *radiatus;* enfin une espèce nouvelle beaucoup plus allongée et plus étroite que l'*elongatus*, que nous désignerons sous le nom de *Myacites angustatus*, assez commune dans le grès bigarré à Domptail et à Rembervillers et Aydoiles.

A la suite de cette communication, M. Michelin fait observer que c'est à tort que, dans la première livraison de l'*Iconographie zoophytologique*, il a désigné sous le nom de *Sarcinula Archiaci* une véritable styline. Après avoir exposé suivant lui les distinctions caractéristiques des deux genres, il pense que la nouvelle espèce décrite par M. Antoine Mougeot devra également rentrer dans celui de la styline, et serait alors nommée *Stylina reticulata*, A. Mougeot.

M. Levallois, ingénieur en chef des mines, donne lecture d'une *Notice* très intéressante *sur des roches d'origine ignée* (*avec talc et fer oxydulé*) *qu'il a observées à la côte de Thelod, arrondissement de Nancy* (*Meurthe*), et il met plusieurs échantillons de ces roches sous les yeux de la Société. — Au-dessus d'un grès calcaire liasique, avec *Ammonites spinatus* (Brug), qui se trouve aux deux tiers de la côte de Thelod, M. Levallois a reconnu la présence d'une roche se divisant en fragments pseudo-réguliers d'un gris à reflet verdâtre prononcé, qui est tenace, et qui résonne sous le marteau; cette roche est un calcaire plus ou moins argileux appartenant à la marne supra-liasique, qui a été métamorphisée, et qui contient des lamelles de talc. — D'autres échantillons de la même localité paraissant tenir de près à la cause métamorphisante présentent, outre le talc, du mica, du fer oxydulé, du peroxyde de fer, etc., et M. Levallois a reconnu qu'ils sont naturellement *magnéti-polaires*. — Ces roches forment comme un îlot au milieu de la marne supra-liasique, mais nulle part on ne voit paraître la roche éruptive qui a produit ce phénomène remarquable de métamorphisme. (Voir pour plus de détails la notice de M. Levallois. Nancy, 1847. Grimblot, imprimeur-libraire, place Stanislas, n° 7.)

M. Delesse fait une communication sur un Mémoire ayant pour titre : *Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches* (1). En appliquant le procédé décrit par l'auteur à diverses roches, on trouve qu'en représentant par 100 leur volume , ona pour les proportions en volume de leurs minéraux constituants :

(1) *Granite rouge d'Égypte.*

Orthose rouge	45	Quartz	44
Oligoclase blanc	9	Mica noir	4

(2) *Granite porphyroïde et syénitique de Rupt.*

Orthose blanc	31	Quartz gris, hornblende et mica noirâtre	56
Andesite vert d'huile	13		

(3) *Granite un peu porphyroïde du Tholy* (Vosges). — (4) *Variété grenue de* (3). — (5) *Granite porphyroïde des Vosges.*

	(3)	(4)	(5)		(3)	(4)	(5)
Orthose blanc	45	43	28	Quartz gris	52	55	60
Andesite rougeâtre	2		7	Mica	1	2	5

(6) *Granite porphyroïde des Vosges* (autre variété).

Orthose blanc	11	Quartz formant pâte avec les deux feldspaths et un peu de mica	80
Andesite rougeâtre	5	Mica	4

(7) *Syénite du Ballon d'Alsace à andésite blanche* *.

	(a)	(à)	(b)	(c)		(a)	(à)	(b)	(c)
Orthose fauve	17	18	20	20	Hornblende vert noirâtre et très peu de mica	49	46	16	16
Andesite blanc jaunâtre	34	36	30	34	Quartz gris			34	30

(8) *Syénite du Ballon d'Alsace à andesite rouge.*

	(a)	(b)		(a)	(b)
Orthose fauve brunâtre	30	24	Hornblende vert noirâtre avec un peu de mica	10	21
Andesite rouge corail	32	30	Quartz gris	28	25

(9) *Diorite à gros grain.*

Oligoclase blanc avec un peu de quartz	62	Hornblende verte	48

(10) *Diorite orbiculaire de Corse.*

Feldspath vosgite	84	Hornblende	16

(11) *Porphyre quartzifère des Vosges.*

Orthose blanc	11	Pâte feldspathique et quartzeuse blanc jaunâtre	75
Quartz cristallisé	13	Pinite et mica	3

---

(1) *Annales des Mines*, 1848, 4e série, t. XIII, p. 379.

(*) Les lettres *a*, *b*, *c* désignent les variétés d'une même roche ; (*a*), (*à*) indiquent les résultats obtenus sur deux faces parallèles d'un même échantillon poli ; ils ne diffèrent le plus généralement entre eux que de quelques centièmes, ainsi que j'ai pu le constater par plusieurs expériences.

(12) *Porphyre rouge antique.*

Oligoclase rose	11
Amphibole	2
Pâte rouge marron	87

(13) *Mélaphyre de la goutte des forges à Giromagny.*

Labrador blanc verdâtre	55
Amygdaloïdes calcaires	5
Pâte sombre violacée	62

(14) *Porphyre vert antique.*

(*a*) analysé. — (*b*) variété de (*a*). — (*c*) variété de (*a*) riche en labrador.

	(*a*)	(*b*)	(*c*)		(*a*)	(*b*)	(*c*)
Labrador verdâtre	43	42	54	Pâte verte	57	58	46

M. Delesse ajoute que, le plus généralement, les proportions des divers minéraux qui se trouvent dans une roche diffèrent assez notablement de celle qu'on serait porté à admettre à priori d'après son inspection; les différences tiennent à des effets très variés, produits par le *contraste* des couleurs propres aux minéraux, et aussi au mode de *répartition* de ces dernières dans la roche. M. Delesse fait remarquer à ce sujet qu'un minéral ayant une couleur éclatante comme le mica, et qui présente, comme lui, une multitude de cristaux toujours très petits, répandus dans la masse de la roche de laquelle ils se détachent très nettement, se trouve toujours en proportion beaucoup moins grande qu'on ne serait tenté de l'admettre d'après l'aspect de la roche.

A cinq heures, la Société s'est rendue à un grand banquet qui lui a été offert par la ville de Remiremont, dans le grand salon du palais abbatial, et auquel assistaient M. le maire et le corps municipal.

Séance du 17 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à sept heures du soir à Gérardmer.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

En quittant Remiremont, et jusqu'à Vagney, la Société rencontre d'abord quelques variétés de granite commun; mais à partir du Sapois elle peut surtout observer, à plusieurs reprises, une roche à laquelle les géologues des Vosges ont donné le nom d'*eurite porphyroïde*, qui se trouve en place à la côte du Sapois, au saut du Bouchot, à Rochesson, à la roche des Ducs, dans la vallée des Truches, et en descendant vers Gérardmer.

Cette roche a la structure porphyrique la mieux caractérisée. Sa pâte est noire, grise, brune ou rougeâtre; elle est feldspathique, et elle contient des paillettes de mica noir ou brun foncé en proportions très variables. Quelle que soit la couleur de cette pâte, de grands cristaux d'orthose d'un blanc de lait s'en détachent toujours d'une manière très nette; ces cristaux sont maclés comme le sont le plus souvent les cristaux d'orthose dans les roches granitoïdes, et leur macle est formée de la même ma-

nière que celle de l'orthose de la syénite (1); seulement les axes des deux demi-cristaux ne se confondent pas en un seul, mais sont parallèles, ce qui donne lieu à des angles rentrants dans la cassure sous le marteau.

Il y a en outre, mais accidentellement, des cristaux d'un feldspath verdâtre ou rougeâtre maclé à la manière des feldspaths du sixième système cristallin, et qui ne paraît pas différent de celui qui se présente avec les mêmes caractères dans le granite porphyroïde des Vosges.

Ces eurites porphyroïdes peuvent contenir du quartz, qu'on observe surtout dans les variétés à pâte grisâtre; ce sont alors de véritables *porphyres quartzifères*. On y trouve aussi quelquefois de l'amphibole hornblende.

Toutes ces roches forment dans le granite encaissant, qui s'étend depuis Sapois jusqu'à Gérardmer, des filons séparés du granite d'une manière très nette : la direction d'un filon du Couchetat (vallée des Truches), qui avait $1^{m},60$ de puissance, a été trouvée de N. 105° E. Ainsi que l'a fait remarquer M. Levallois, leur puissance peut se réduire à quelques centimètres pour des ramifications à proximité d'autres filons; généralement elle est d'un mètre ou de plusieurs mètres; cependant, au saut du Bouchot et à la roche des Ducs, leur puissance est beaucoup plus grande, et elle va jusqu'à 15 mètres, comme le font observer les auteurs de l'Explication de la carte géologique de France.

Au haut des Truches, à l'Urson, la Société rencontre un filon d'*eurite micacée* à pâte rose feldspathique, et renfermant quelques cristaux d'orthose avec de grands cristaux de mica brun noirâtre; sa puissance est environ de 4 mètres; sa direction est à peu près N. 20° E., et son pendage de 75° de l'E. vers l'O.

Un peu au delà on trouve un dépôt tourbeux qui paraît occuper l'emplacement d'un ancien lac; cette tourbe, qui dans sa partie inférieure est d'assez bonne qualité, est exploitée sur une épaisseur de 1 à 2 mètres.

La Société s'est portée au bas du Fény, à la ferme de la Breuchotte, pour visiter une roche assez anormale : cette roche,

---

(1) Voir *Annales des mines*, t. XIII, p. 667. 1848.

qui contient quelquefois des fragments de granite et des noyaux argileux verdâtres, qui tantôt est rubanée et tantôt parsemée de petites cavités irrégulières, a paru dépendre de la formation du grès rouge, et présenter de l'analogie avec les roches argileuses de Faymont et de la Poirie. Elle est fortement redressée, et elle est enclavée dans le granite.

« M. Puton pense qu'il est hasardeux de se prononcer sur l'origine de cette roche avant d'en connaître la composition ; elle lui paraît être autant feldspathique que siliceuse, et la manière dont elle se présente lui donne tout l'aspect d'une roche d'épanchement en filon ou en massif dans le granite. Rien n'indique là une roche sédimentaire modifiée. Seraient-ce les fragments de granite? Mais on sait que les roches d'épanchement peuvent entraîner des débris de la roche encaissante. M. Puton ajoute que si le grès rouge se trouvait dans le voisinage, de manière à lui rattacher cette roche *problématique*, on serait en devoir de la rapporter à ce terrain; mais il n'existe ni dans la vallée de Gérardmer ni dans les vallées adjacentes. »

M. Hogard a indiqué sur ses cartes géologiques de 1845 et 1846 le lambeau de terrain dont il s'agit comme appartenant au grès rouge, et à l'égard de la dernière observation de M. Puton il fait remarquer *qu'il existe plusieurs lambeaux* du *même terrain* dans le voisinage, notamment dans la forêt du Haut-Poirot, lieu dit aux Bloquées, à la Neuve-Roche, commune de Sapois, etc. Les blocs erratiques des anagénites du grès rouge répandus à Rochesson feraient présumer que cette formation s'étendait sur quelques unes des cimes dominant cette vallée; et, selon toute probabilité, ces lambeaux isolés aujourd'hui se rattacheraient à la formation du grès rouge comprise entre Dommartin et Corcieux, points dont ils sont à peu près également éloignés.

A Gérardmer, M. Hogard a rendu compte de la partie de la course relative aux phénomènes erratiques. Il s'est attaché à démontrer et à faire sentir les différences qui existent entre les terrains de comblement des vallées des Vosges et les amas de débris transportés par les glaciers. — *Moraines stratifiées.* — Il a fait remarquer que les moraines présentaient fréquemment dans leur intérieur des traces de stratification

grossière. Ce fait, signalé par M. de Charpentier dans le bassin du Rhône, se représente quelquefois dans les moraines que la Société a été appelée à visiter dans les Vosges. L'explication qui en a été donnée est le résultat des observations faites sur les glaciers en activité, appliquées aux dépôts erratiques anciens. Ainsi, dans la saison chaude, la surface des glaciers est sillonnée de ruisseaux et de ruisselets provenant de la fonte superficielle; le glacier est en même temps couvert de particules innombrables de sable et de gravier. Ces petits cours d'eau, en circulant suivant la pente générale du glacier, entraînent les sables qu'ils rencontrent sur leur passage; il les rassemblent, les accumulent sur certains points et finissent par les entraîner jusque sur la moraine terminale. Si ces cours d'eau ne changent pas trop brusquement de direction et qu'ils persistent pendant une saison tout entière, ils accumulent une quantité suffisante de sable pour former une petite couche qui, étant ensuite couverte par les matériaux que le glacier apporte par son mouvement propre, donne lieu à l'origine d'une stratification grossière. Dans les matériaux des moraines il faut donc distinguer :

1° Ceux qui ont été transportés par le mouvement du glacier sans l'intervention de l'eau.

2° Et ceux qui ont été transportés par le concours des ruisseaux qui circulent à la surface des glaciers.

Ces derniers sont généralement fort menus et ne se composent que de sable fin. Les premiers affectent de préférence la forme de blocs. Et comme le transport de tous ces débris est simultané, il en résulte qu'on rencontre quelquefois sur la tranche verticale d'une moraine des masses considérables de sable fin reposant sur des plans de stratification grossière, dans lesquelles se trouvent des blocs métriques à angles vifs disséminés à distance les uns des autres, ou plutôt empâtés. Dans la course du 12 septembre la Société a pu examiner une moraine de cette catégorie sur la route du Tholy à Remiremont, à Saint-Amé. Elle barre la vallée dans un sens transversal; elle a 15 à 20 mètres de hauteur verticale, elle est presque en entier formée d'une accumulation de sable fin et d'une petite proportion de blocs empâtés.

M. Hogard, tout en provoquant une discussion à l'égard des moraines, pour engager la Société à se prononcer définitivement

sur l'origine qu'il leur attribue, cite l'opinion de M. de Billy qui pense que dans quelques unes des accumulations placées en aval du lac de Gérardmer, il a cru reconnaître plutôt l'action des eaux que celle des anciens glaciers. (Annales de la Société d'émulation des Vosges). M. Hogard demande à M. de Billy quelles sont dans les Vosges les moraines sur lesquelles ses observations portent le plus particulièrement.

M. de Billy répond qu'il a examiné avec attention les blocs erratiques disséminés sur toute la ligne orientale du Jura, et les moraines décrites par M. Collomb dans la vallée de Saint-Amarin (Haut-Rhin), qu'il serait disposé à attribuer leur mode de transport et de dépôt à l'existence d'anciens glaciers ; toutefois il a aussi examiné certains dépôts du versant occidental des Vosges, dépôts dont l'origine lui paraît problématique. M. de Billy croit devoir se ranger à l'opinion d'esprits éminents qui doutent encore. — M. Levallois ajoute qu'il ne pense pas que la question puisse se décider dans une course rapide dans les Vosges ; il ne la trouve pas suffisamment approfondie pour qu'on puisse lui appliquer une solution immédiate.

M. Hogard ne croit pas devoir insister, *l'hypothèse du diluvium de Gérardmer, ressemblant parfois aux moraines, ayant pu être pris pour ces dernières*, paraissant une question jugée. Mais cependant il ne peut se dispenser de faire remarquer à la Société :

1° Que le premier il a décrit et figuré les moraines de la vallée de Gérardmer ;

2° Que ces moraines ont ensuite été visitées et reconnues par divers géologues ;

3° Que les expressions employées pour rendre compte des résultats des observations récentes de M. de Billy dans les Vosges sont fort précises, et que tandis qu'aujourd'hui il déclare que le moment de se prononcer définitivement n'est pas encore venu, on lui a fait dire formellement, dans le passage cité des Annales, que nos moraines étaient des dépôts de *diluvium ;*

4° Que les points où la prétendue confusion introduite dans la séparation des dépôts formés par les eaux courantes et de ceux formés par suite de l'action des glaciers n'étant nullement indiqués, il n'y a pas lieu de s'arrêter à des observations cri-

tiques dont on n'a pas trouvé moyen de faire application sur les lieux.

Quant au diluvium, M. Hogard pense que si l'on parvenait à constater sa présence dans la vallée de Gérardmer, en dehors des faibles nappes de terrain de comblement des anciens lacs de la contrée, ce serait un fait aussi curieux qu'extraordinaire; mais qu'on ne parviendra certainement pas à l'établir, quand même, en renonçant à l'hypothèse d'une action subite des eaux, on se résignerait à n'admettre que de faibles cours d'eau, exhaussant lentement et successivement leurs lits. Comment expliquer l'action lente d'un cours d'eau quelconque, se créant, de distance en distance au travers des vallées, des barrages de quelques kilomètres de longueur, de 100 mètres moyennement d'épaisseur, et sur 4, 5 ou même 800 mètres de largeur; plaçant sur les crêtes de ces barrages, composés principalement de sable et de gravier, et sans les démolir, ainsi que sur les flancs des montagnes, d'énormes blocs anguleux, de 10, 20, 50 et 100 mètres de roches arrachées aux sommités fermant le bassin, et à 12, 15, 20 kilomètres et plus, des points d'où ils ont été extraits. Comment en même temps expliquer le nivellement des matières transportées entre les divers barrages; et surtout transportées du Honeck au Tholy, en franchissant sans s'y arrêter, *les lacs de Retournemer, de Longemer et de Gérardmer;* (pour ne citer que les lacs existant encore, et qui sont demeurés comme pour faire comprendre l'insuffisance de la théorie du transport des masses erratiques et détritus glaciaires, par les eaux courantes.)

Lac de Gérardmer.

M. Ch. Martins donne à la Société des détails sur une particularité intéressante du lac de Gérardmer. Ce lac, d'environ 2,000 mètres de longueur, présente, dans son régime, un fait singulier et rare en orographie. La pente générale de la vallée, nivelée avec soin par M. Hogard, devrait porter les eaux dans le bassin inférieur de la Moselle, en passant par le Belliard, le Tholy et la vallée de Cleurie. Mais un obstacle infranchissable se présente en aval du lac, cet obstacle c'est la grande moraine frontale de Gérardmer; elle s'oppose à ce que les eaux suivent leur cours naturel, et comme il faut qu'elles passent quelque

part, leur écoulement se fait à contre-pente; c'est en amont qu'elles s'échappent pour gagner un point peu éloigné du saut des Cuves, et s'engouffrer au N.-O. dans l'étroite gorge de la Vologne.

Séance du 18 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La Société se réunit le soir dans la salle de l'hôtel de la Truite, à Wildenstein.

M. Delesse, secrétaire, rend un compte rapide de l'excursion de la journée, qui, à cause du mauvais temps, n'a pas été favorable aux observations.

Partie à huit heures de Gérardmer, la Société s'est arrêtée au Saut-des-Cuves, où la Vologne offre une cascade des plus pittoresques; là les mêmes eurites porphyroïdes que nous avons décrites, en rendant compte de la course du 17 septembre dans la vallée de Rochesson, sont enchevêtrées dans le granite; elles forment des filons puissants, à pâte de couleur brun-rougeâtre, et elles se détachent d'une manière très nette sur le fond blanc du granite encaissant.

Pour arriver au lac de Retournemer, la Société a franchi une barre de granite porphyroïde à mica noir qui dispute le passage aux eaux qui sortent du lac, et donne lieu, par cet obstacle, à une jolie cascade.

Arrivée à la maison forestière, sur les bords du lac de Retournemer, la Société, arrêtée par une pluie torrentielle, a dû renoncer à faire l'ascension du Hohneck et du Rotabac; elle s'est dirigée rapidement sur Wildenstein, par la vallée des Faings-Chauvelin et le col de Bramont.

Pendant ce trajet, la Société a marché constamment sur un granite porphyroïde à mica noir. Au sommet de la vallée des Faings-Chauvelin, elle a rencontré un grand nombre de blocs d'eurite porphyroïde brune, qui indiquent qu'un filon de cette roche se trouve dans le voisinage. Dans le bas de la vallée, et à la côte de Bramont, elle a observé un granite à grains moyens remarquable par sa grande richesse en quartz; il contient de l'orthose blanc, quelques rares lamelles rougeâtres appartenant

à un feldspath maclé du sixième système, deux micas, l'un noir, et l'autre blanc d'argent; la marche rapide de la Société ne lui a pas permis de reconnaître ses relations de gisement avec le granite ordinaire de la contrée; il est désigné par les géologues des Vosges sous le nom de *granite blanc de la Bresse*.

Dans les berges d'un chemin forestier qui aboutit à la route de la Bresse à Wildenstein, on a remarqué un petit lambeau de gneiss décomposé et friable.

Parvenue au col de Bramont, la Société est descendue dans la vallée de la Thur, où elle n'a pas tardé, en quittant le granite, à se trouver dans le terrain de transition caractérisé par des schistes noirs fissiles et compactes, par des quartzites bleuâtres et jaspoïdes, et par des pétrosilex compactes.

COMMUNICATION.

M. Levallois, ingénieur en chef des mines, fait hommage à la Société d'une note qui a pour titre : *Observations sur la roche ignée d'Essey-la-Côte (arrondissement de Lunéville)* (1), de laquelle est extrait ce qui suit : « Le savant chimiste de » Nancy, M. Braconnot, en étudiant chimiquement la roche » d'Essey-la-Côte, avait été conduit à penser qu'elle avait une » origine aqueuse; son opinion avait été basée sur ce que cette » pierre, soumise à la distillation, lui a fourni des produits » carbonés et ammoniacaux, de même que le trapp de Raon- » l'Étape, et le granite des Vosges, tandis que les basaltes de » Clermont, de Gundershoffen et du Kaiserthul ne lui avaient » pas donné de traces de matières organiques; mais M. Leval- » lois combat cette conclusion, et fait remarquer, à cet égard, » que M. A. Brongniart indique du bitume dans le basalte, » M. Knox en a trouvé, ainsi que de l'ammoniaque, dans la » pierre ponce d'Islande, dans le basalte de la chaussée des » Géants, dans l'obsidienne des îles Lipari, et dans les roches » dont l'origine ignée est la plus certaine; d'ailleurs rien ne » s'oppose à ce que des roches ignées manifestent la réaction de » matières organiques, puisque les éléments de ces matières

(1) *Mémoires de la Société royale des sciences de Nancy*. 1846.

» existent dans le grand laboratoire souterrain, ainsi qu'en font » foi les vapeurs de muriate d'ammoniaque, de naphte et d'hy- » drogène carboné qui se dégagent des volcans en activité; il » résulte, du reste, de l'étude minéralogique et géologique que » M. Levallois a faite de la roche d'Essey qu'elle doit nécessai- » rement être considérée comme produite par la voie ignée. »

Relativement à ce qui précède, M. Delesse fait les observations suivantes :

Il a mis dans une cornue de porcelaine environ 500 grammes de *mélaphyre* ou de *porphyre de Belfahy*, à base de labrador; il a chauffé fortement cette cornue dans un fourneau de calcination, et il a recueilli les produits volatils dans un tube en *u* refroidi artificiellement; il a obtenu ainsi de l'eau assez fortement colorée en brun par de l'huile empyreumatique, mais qui répandait surtout une odeur d'*acétone* bien caractérisée : comme l'acétone est le produit de la décomposition de presque toutes les substances organiques à une température élevée, on ne saurait donc douter de la présence de ces dernières dans le porphyre de Belfahy.

En recherchant, au moyen du nitrate d'argent et du nitrate de baryte, s'il y avait de l'acide hydrochlorique ou de l'acide sulfurique qui auraient pu être entraînés à l'état de sels ammoniacaux avec les produits de la distillation, il n'a d'ailleurs pas obtenu de précipité de chlorure d'argent ni de sulfate de baryte.

Comme il résulte des recherches de MM. Braconnot et Levallois que des roches ayant une identité complète de caractères minéralogiques et géologiques, telles que le basalte de Gundershoffen et le trapp d'Essey, renferment tantôt des substances organiques, et tantôt, au contraire, n'en renferment pas, M. Delesse serait porté à croire que, dans les roches et surtout dans les granites, ces substances ne sont pas *originaires*, mais que généralement, sauf certains cas exceptionnels, tels que ceux cités par M. Levallois, elles proviennent seulement de la décomposition des végétaux, ainsi que de l'humus de la terre végétale qui s'infiltre jusque dans les pores des roches, et ne s'en dégage plus ensuite d'une manière complète quand bien même elles sont desséchées à une température inférieure à 100°.

Séance du 19 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La Société se réunit le soir dans la salle de l'hôtel Berquand, à Bussang.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

Les montagnes élevées qui forment la vallée de la Thur sont de formation bien différente : le rameau à droite, appelé le grand Ventron et le Drumont, est entièrement granitique, tandis que celui à gauche, qui dépend du massif du ballon de Guebviller, est presque entièrement constitué par le terrain de transition, qui est le plus souvent fortement modifié ; c'est le fond de la vallée qui est à peu près le point de séparation de ces deux systèmes ; cependant à 3 kilomètres de Wildenstein la rivière laisse à gauche, en le contournant, un massif de granite qui s'élève au milieu de la vallée, et qui porte à son sommet le vieux château de Wildenstein ; ce granite est porphyroïde, à cristaux d'orthose blanc laiteux et à mica noir ; tout le granite de la contrée appartient à la même variété. Le terrain de transition est formé principalement de schistes noirs, dans lesquels on observe des porphyres granitoïdes, qui ont redressé et disloqué les schistes, auxquels ils ont fait subir des effets remarquables de métamorphisme.

La Société s'est arrêtée à Oderen pour examiner le gisement d'euphotide et de serpentine de cette localité ; quand on a passé le pont, et que l'on monte vis-à-vis de l'église, qui est bâtie sur un monticule de schistes, on rencontre d'abord le prolongement de ces mêmes schistes, qui sont fortement redressés et modifiés, puis la serpentine, et après elle l'euphotide, ensuite vient le granite. La serpentine paraît être intercalée dans l'euphotide, et même sur certains points il y a un passage tout à fait insensible entre ces deux roches ; elles sont en contact avec le granite et avec le terrain de transition.

L'euphotide, dans quelques échantillons, se montre bien caractérisée, et ses éléments sont nettement séparés. L'analyse a démontré à M. Delesse que cette euphotide est formée de feldspath labrador et de diallage : le labrador a une couleur verdâtre, et il présente quelquefois des filons dans la roche ; quant à la diallage, elle est verte foncée, avec reflets bronzés. La serpentine du

val de Saint-Amarin a, en général, une couleur verte foncée; elle est compacte, et elle a souvent une cassure cireuse; elle contient des veines de serpentine noble et de chrysotil asbestiforme et soyeux, mais on n'y observe que rarement les nodules qui caractérisent la serpentine de Sainte-Sabine. On trouve accidentellement, soit dans l'euphotide, soit dans la serpentine, du quartz, du mica rouge cuivré, etc., etc.

Bien que l'euphotide soit généralement associée à la serpentine, elle peut aussi se trouver seule, et M. Ed. Collom a reconnu sur le ballon de Guebviller un gisement d'euphotide sans serpentine.

« M. Puton a fait remarquer qu'il avait observé à la sortie de Wildenstein des blocs de serpentine mélangés à d'autres moellons destinés à une construction, et il en conclut qu'il doit y avoir dans la vallée, et près de Wildenstein, un gisement de serpentine qui ne serait pas connu. »

Au Schliffels, la Société, conduite par M. E. Collomb (1), examine le contact du schiste de transition avec un porphyre granitoïde à pâte feldspathique brunâtre; il n'y a pas passage d'une roche à l'autre; mais, au contraire, la séparation se fait suivant des lignes brisées présentant alternativement des angles saillants et rentrants. Le schiste de transition paraît avoir été peu modifié, mais la séparation bien tranchée des deux roches, et les mouvements opérés dans le schiste, portent à croire que le porphyre a pénétré violemment dans le terrain de transition.

MM. Hogard, Delesse et Puton soutiennent cette dernière opinion contrairement à d'autres membres de la Société, qui regardent les deux roches comme produites par un métamorphisme qui se serait exercé différemment sur le terrain de transition.

La Société est arrivée à midi à Wesserling, où elle a reçu de la part des propriétaires de cette importante usine un accueil empressé.

Après avoir accepté un déjeuner qui lui était offert par M. Collomb, la Société a visité les belles carrières de Thann, à l'entrée de cette ville.

---

(1) Voir *Bibliothèque universelle de Genève*, t. VIII (août 1848), p. 257.

Elles présentent les couches du terrain de transition fortement redressées, et quelquefois même verticales; dans l'une d'elles on observe des schistes avec anthracite, et renfermant des empreintes nombreuses de *Sigillaria*, de *Lepidodendron*, de *Calamites*, etc.; des grès dont le grain a une grosseur variable, puis une roche feldspathique verdâtre, renfermant quelques pyrites, et dans laquelle on peut observer que le feldspath a pris une structure orbiculaire. Cette structure est surtout mise en évidence par la kaolinisation, qui, suivant qu'elle est plus ou moins avancée, donne une teinte blanche ou rougeâtre à toutes les parties feldspathiques. La roche précédente est accompagnée de brèches présentant les plus belles nuances, et dont la couleur varie du vert au noir et au rouge. Elle est en outre traversée par des filons renfermant de la chaux carbonatée et fluatée, du sulfate de baryte, de la blende, etc., etc.

Les carrières de Thann fournissent des matériaux pour les constructions ainsi que pour le pavage de Thann et de Mulhouse.

La Société, revenant sur ses pas, est arrivée à Orbey; en montant la côte de Bussang, elle a rencontré de nouveau, dans les escarpements de la route, les schistes du terrain de transition redressés, bouleversés et modifiés par l'injection des roches de porphyre granitoïde qui y sont enchevêtrées. Des quartzites bleuâtres, jaspoïdes et rubanés, et des pétro-silex compactes accompagnent les couches schisteuses, qui, étant quelquefois peu fissiles, ont été décrites à tort comme des trapps. Dans un terrain aussi bouleversé que celui du val Saint-Amarin, il est difficile de distinguer les rôles différents que les roches d'épanchement y ont joué; on y reconnaît cependant des roches porphyriques et euritiques, ainsi que des mélaphyres avec épidote, fer sulfuré et vacuoles de chaux carbonatée.

La Société a visité les travaux du tunnel que l'on construit pour le passage de la route royale; la percée se fait dans les schistes au contact du granite.

La Société s'est arrêtée à la fontaine minérale de Bussang; ses eaux sont alcalines, gazeuses, elles sourdent des schistes de transition qui couvrent les flancs de la montagne. Les eaux de Bussang jouissent d'une grande célébrité, comme puissant auxiliaire à toute espèce de médication, et aussi comme boisson

d'agrément. Tous les ans il s'en expédie de la source environ cent mille bouteilles.

M. Collomb, secrétaire, rend compte à la Société des observations qu'elle a eu l'occasion de faire dans les courses du 18 et du 19.

Pendant toute la journée du 18, une pluie diluvienne n'a pas permis à la Société de suivre l'initéraire qu'elle s'était d'abord tracé; elle a renoncé à la course du Hoheneck et du Rothenbach; elle s'est dirigée de Gérardmer à Longemer en s'arrêtant un instant au *Saut-des-Cuves*, cascade remarquable par l'effet pittoresque qu'elle produit dans des masses granitiques coupées à pic et entremêlées d'une vigoureuse végétation de sapins. M. Hogard a fait remarquer qu'il existe dans le lit du torrent au *Saut-des-Cuves* de beaux exemples de *marmites de géant*, creusées dans le granit.

De Longemer, la société a stationné quelques heures à *Retournemer*, elle a remarqué que le petit lac de Retournemer n'est point barré en aval par une moraine, comme le sont la plupart des lacs des Vosges, mais que c'est le granit en place qui s'avance en promontoire de 12 à 15 mètres de hauteur verticale, traverse le vallon et donne naissance à un petit lac.

De Retournemer la Société s'est dirigée par le col des Faings-Chauvelin dans la vallée de Vologne, où elle a reconnu l'existence d'une série de moraines frontales, dans la partie de cette vallée comprise entre le col et le ruisseau de Blanchemer et nommée Belle-Hutte, et dont M. Hogard avait fait voir des coupes et des dessins avant de quitter Épinal.

Elle s'est dirigée ensuite par le col du Bramont sur Wildenstein au fond de la vallée de Saint-Amarin. L'état déplorable du temps n'a pas permis à la Société de se livrer dans la journée du 18, aux observations qu'elle se proposait de faire sur les différents accidents du pays, avec toute l'attention qu'ils méritent.

Vallée de Saint-Amarin

Le 19, le temps s'est remis au beau et la Société a pu examiner en détail les phénomènes remarquables que cette vallée présente relativement aux traces d'anciens glaciers. Les moraines désignées par M. Collomb sous le nom de *moraines par obstacle* ont été d'abord l'objet de l'attention de la Société.

Moraines par obstacle.

La pente moyenne du sol de la vallée nivelée de Thann à Wildenstein, sur les indications de la carte du dépôt de la guerre, n'est que de 0,009. Cette vallée présente en outre un accident orographique qui a donnné lieu à l'existence des moraines par obstacle. Ce sont des îlots de roche en place qui percent le sol, s'élèvent sous une forme qu'on pourrait rapporter à celle d'un cône tronqué, à la hauteur de 20, 50 à 180 mètres. Ces îlots sont placés au fond de la vallée, sur sa ligne médiane, complétement indépendants des parois des montagnes encaissantes. On en remarque quatre principaux, 1° celui qui porte l'ancien château de Wildenstein, de 180 mètres de hauteur; 2° celui du Barenberg d'environ 80 mètres; 3° celui sur lequel est bâtie l'église du village d'Odern; 4° le monticule désigné dans le pays sous le nom de Marlen. Tous ces îlots sont situés en amont de Wesserling dans la partie haute de la vallée.

Le premier que la Société a eu l'occasion de visiter est celui de Wildenstein; c'est un petit massif de granit porphyroïde, dont le plan figure une ellipse allongée dans un sens parallèle au cours de la Thur. En aval, et sur ses flancs, ce rocher présente des escarpements à pente rapide; en amont, il s'abaisse par une pente douce jusqu'au niveau du sol. La face de ce solide tournée en amont est couverte, à la hauteur d'une trentaine de mètres, d'une masse considérable de débris, de blocs empâtés, de sable, de graviers, en un mot de tous les matériaux qui forment ordinairement les moraines. Toutefois, M. Ch. Martins fit observer que ce rocher ne peut pas être considéré comme une moraine par obstacle type, par la raison que, si l'on poursuit les débris déposés contre ce roc, on trouve qu'ils continuent à se montrer à droite et à gauche dans le fond de la vallée, et que ce point correspondait à une ancienne moraine frontale. Le glacier a stationné longtemps sur cette ligne, il venait butter contre le rocher, il y déposait ses matériaux, et en même temps il les déposait aussi dans la partie plate de la vallée, dans les deux couloirs qui séparent le rocher des montagnes encaissantes.

A quelques kilomètres en aval, la Société a remarqué une autre moraine par obstacle sur laquelle quelques détails sont

nécessaires, parce qu'elle peut servir de type pour l'étude de ce genre de phénomènes. Elle mérite d'autant plus de fixer l'attention des observateurs qu'il existe peu de vallées, soit dans les Vosges, soit dans les Alpes, où l'on trouve avec le terrain erratique des accidents orographiques tels que nos îlots de roche en place, aussi bien accusés que dans la vallée de Saint-Amarin.

La moraine par obstacle dont il est question est celle sur laquelle est bâtie l'église du village d'Odern. Le plan de l'îlot a, comme le précédent, la forme d'une ellipse, mais son grand axe est tourné dans un sens différent; il est perpendiculaire à l'axe principal de la vallée; il n'a guère plus de 20 à 25 mètres de hauteur verticale, et 200 mètres de diamètre. En aval, le rocher est escarpé et dénudé; il a conservé toutes les aspérités naturelles à la roche. En amont, la position est différente; il est revêtu d'une masse épaisse de débris, de sable, de graviers, de blocs métriques qui percent le sol, ou qui sont complétement empâtés. Sur la rive droite de cette moraine on remarque des amas de terre rougeâtre argileuse très fine, entremêlée de blocs de granit de 50 à 60 centimètres de diamètre; on y trouve aussi des galets rayés. Sur cette même rive, la Thur vient battre ce rocher; elle a entamé l'amas de débris à la hauteur de quelques mètres seulement; ceux qui résistent au torrent sont suspendus légèrement, la moindre force suffit pour les désagréger. Lorsqu'un bloc est à moitié empâté, on peut facilement le faire rouler dans le torrent en dégageant un petit caillou faisant coin.

La limite de ces débris est circonscrite au rocher même; dans la partie plate de la vallée qui fait suite à l'axe de l'îlot on ne trouve aucune trace de débris erratiques : ce sont des prairies, des maisons, des champs cultivés sur un terrain de comblement à surface horizontale.

Nous trouvons donc contre ce rocher, et *en amont*, un revêtement de détritus qui renferme tous les éléments des moraines, y compris les galets rayés et la boue du glacier, qui s'y trouve représentée par la terre argileuse; puis l'extrême mobilité des matériaux, qui ne permet pas d'admettre que les courants d'eau soient intervenus d'une façon quelconque dans l'établissement

de cet amas, puisque le courant de la Thur, qui passe auprès du rocher, détruit la moraine lorsqu'il peut l'atteindre.

L'obstacle placé au milieu de la vallée a servi de point de débarquement aux débris pierreux transportés par le glacier. Il n'a pas séjourné sur l'îlot, autrement la moraine participerait de la forme des moraines frontales, et se prolongerait dans la vallée pour joindre le pied des montagnes encaissantes.

M. Ch. Martins a signalé ce fait remarquable à l'attention de la Société : il pense que, dans l'état actuel de nos connaissances sur le mouvement des glaciers, nous ne possédons pas un nombre suffisant de faits sur lesquels on puisse s'appuyer pour pouvoir donner un explication satisfaisante du mode de formation des moraines par obstacle. Il pense que l'étude plus approfondie des phénomènes qui se passent au Jardin de la mer de glace de Chamonix pourrait seule jeter quelque lumière sur ce sujet.

Moraines frontales.

Dans la vallée de Saint-Amarin, la Société a encore remarqué deux moraines frontales complétement indépendantes des obstacles dont nous venons de parler. La première en amont est celle *de Krüth*, sur laquelle la Société s'est arrêtée, et où quelques membres ont pu recueillir un certain nombre de galets *rayés*, galets possédant tous les caractères décrits par M. Agassiz. C'est la première des moraines visitées par la Société, sur laquelle des débris de schistes argileux de transition commencent à se montrer ; ils existent en place, sur la rive gauche de la vallée, en amont. La moraine de Krüth est triple. Le premier pli du terrain en amont décrit une courbe, se prolongeant d'un bord à l'autre de la vallée, mais dont la hauteur verticale ne dépasse pas 12 à 15 mètres. Le second pli est parallèle au premier, à la distance d'une centaine de mètres ; puis le troisième mouvement du terrain s'écarte de la parallèle, il se prolonge au S., jusqu'en face de la petite vallée de Saint-Nicolas, vallée qui débouche à angle droit dans le grand couloir principal.

Moraine de Wesserling.

A Wesserling, la Société a été reçue par M. Collomb, dont l'habitation est bâtie sur la moraine même. Cette moraine a été remarquée depuis longtemps et décrite par M. Le Blanc. C'est la première dans les Vosges qui ait été l'objet de l'at-

tention des géologues. Sa position est nette et bien dessinée; elle forme un barrage transversal dont le point culminant est à 35 mètres au-dessus du lit de la rivière. Elle est en entier composée des débris des roches du bassin supérieur; on y reconnaît des fragments de granit blanc provenant des environs du Rothenbach, des granits porphyroïdes rouges du col du Bramont, des granits communs de Krüth sur la rive droite de la vallée; des euphotides d'Odern et de Schliffels, des eurites porphyroïdes de l'affluent d'Urbès, puis toutes les roches de transition du groupe de la Grauwacke qui gisent de préférence sur la rive gauche de la vallée.

Ces matériaux sont distribués sans ordre selon le volume, sauf quelques couches informes de sable qu'on a exploitées pour les constructions. La plupart des gros blocs qui couvraient autrefois la moraine ont été exploités; il en reste cependant encore un certain nombre sur le dernier pli du terrain en aval; l'un d'entre eux mesure 15 mètres cubes. La majorité d'entre eux sont arrondis et usés, quelques uns cependant ont conservé toute la vivacité de leurs angles; et si les cryptogames n'étaient venus s'emparer de leur surface, on les dirait arrachés tout récemment des flancs de la montagne. Cette moraine est coupée par les eaux de la Thur; une large échancrure donne passage aux eaux; les fragments de moraines qui restent debout sur la rive droite et sur la rive gauche se correspondent exactement. L'ensemble de ces matériaux, mesurés par M. Collomb d'après un plan et des coupes levés avec soin, lui a donné un chiffre de 12,759,000 mètres cubes. On peut recueillir sur ce dépôt une grande quantité de galets rayés.

Roches striées.

Le court séjour de la Société dans la vallée de Saint-Amarin ne lui a pas permis de visiter toutes les roches striées en place qui y existent; elle s'est plus particulièrement arrêtée au *Glattstein*, déjà décrit par M. Collomb (1).

On peut distinguer sur cette roche trois régions de stries :

1° Des stries rectilignes, fines, peu profondes. On leur a appliqué la dénomination de *rectilignes;* toutefois, si on les

(1) Ouvrage cité, p. 58.

examine avec attention, on trouve qu'elles décrivent toutes une courbe à grand rayon. Elles sont fréquemment croisées entre elles et se coupent sous un angle aigu. Ce sont ces stries qui sont les plus nombreuses ; elles frappent tout d'abord l'observateur.

2° Des stries saccadées. Elles sont creusées dans la pierre avec un burin fort tranchant ; leur sillon est formé par une infinité de petits éclats de roche enlevée.

3° Des stries cannelées, formées de larges sillons faiblement creusés, parallèles entre eux. Ces stries cannelées ne s'aperçoivent point sur un échantillon de quelques centimètres carrés ; il faut se placer à distance pour les bien juger.

M. Collomb a mis à la disposition des membres de la Société des exemplaires bien choisis de surfaces striées provenant de la route du Glattstein.

Séance du 20 *septembre* 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La séance est ouverte à 7 heures, dans la salle de l'hôtel du *Canon d'Or*, à Giromagny.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

La Société a fait l'ascension du ballon de Giromagny, en prenant à Saint-Maurice la route de Belfort. Elle a d'abord rencontré des roches assez mal caractérisées qui doivent être rapportées au terrain de transition et au porphyre brun de M. Elie de Beaumont ; puis elle a pu observer en place la syénite qui forme la masse du ballon de Giromagny et de Servance.

Elle est formée de quartz, d'orthose fauve ou brunâtre, d'andésite blanc de lait ou rouge de corail, de hornblende verte, de fer oxidulé, et accidentellement elle contient du sphène brun rougeâtre, de la pyrite de fer, etc. L'analyse a montré que la composition de ses minéraux constituants est la suivante (1) :

---

(1) *Annales des Mines*, 1848, t. XIII, p. 667.

	Orthose.	Andésite blanche.	Hornblende.
Silice.	64,26	58,92	47,40
Alumine	19,27	25,05	7,55
Oxyde de fer. .	0,50		15,40
Chaux	0,70	5,64	10,85
Magnésie. . . .	0,77	0,41	15,27
Soude.	2,88	7,20	. . . 2,95
Potasse.	10,58	2,06	
Perte au feu . .	0,40	1,27	1,00

On peut admettre pour la composition moyenne de la syénite normale — : silice 70, — alumine 13, — oxyde de fer 3, — magnésie 3, — potasse 4, — soude 3, — eau, fluor, etc., 1.

Un peu au delà et un peu en deçà de la Jumenterie, sur le sommet du ballon, la syénite est coupée par plusieurs filons d'eurite micacée ou de *minette* (Voltz); comme cette roche ne présente pas une grande résistance à la cassure, on l'a exploitée pour l'entretien de la route, en suivant la direction des filons : leur largeur varie de 0m,40 à 1 mètre, leur direction est de N. 90° E., et leur pendage dirigé du S.-S.-E. au N.-N-O. en est de 60°. La roche est formée de mica brun noirâtre engagé dans une pâte feldspathique; elle contient une certaine quantité de lithine : on y observe de petites veines remplies de carbonate de chaux, et sur les salebandes, elle présente quelquefois une structure variolitique qui devient surtout visible après l'altération à l'air.

Après avoir consacré quelques instants à admirer le panorama des Alpes qui se déployait à perte de vue, quoique le ciel fût un peu brumeux, la Société descend du sommet du ballon. Au Saut de la Truite, et à la limite de la syénite, elle examine une roche porphyrique verte paraissant se rapporter au porphyre du terrain de transition, et dont la masse a été injectée de filets très fins de galène.

Entre le Haut-Pont et la maison Fariole, commune du Puix, elle trouve des blocs roulés d'un beau mélaphyre à pâte vert clair, contenant beaucoup de grands cristaux de labrador verdâtres qui prennent une légère teinte rougeâtre par l'altération; ce métaphyre est en place sur le revers.

La Société observe ensuite la roche appelée par Voltz *Roche serpentineuse du ballon*. Elle est formée d'un mélange de serpentine noble vert clair, et de parties quartzeuses blanchâtres; dans certaines parties le quartz est bien visible et forme même d'assez gros filons; dans d'autres, au contraire, il est

mélangé d'une manière intime avec la roche, qui est grenue, mais qui fait feu sous le marteau.

Au Chantoisot, avant d'arriver au Puix, la Société a rencontré une variété de mélaphyre qui est brèchiforme ; le labrador y forme de petits cristaux verdâtres mal définis, et l'on n'y observe que rarement de petits grains d'augite ; il présente une teinte générale verte foncée, et les fragments brèchiformes qu'on y observe dans certaines parties ont même couleur et même composition que la pâte.

La Société, après avoir visité la mine de cuivre du Fainitorne, près de Giromagny, fait une excursion sur l'Ordon-Verrier, au pied de laquelle est pratiquée la galerie de la mine, et elle observe en place d'autres variétés de mélaphyre qui sont caractérisées de la manière la plus nette. Les cristaux de feldspath labrador, qui sont mâclés, ont quelquefois un centimètre de longueur, et l'on y trouve assez souvent des cristaux d'augite noir. La pâte est généralement verte, mais elle présente cependant toutes les nuances depuis le vert noirâtre jusqu'au violet clair, et les grands cristaux de labrador s'observent surtout dans les variétés brèchiformes du mélaphyre.

« M. de Billy appelle l'attention de la Société sur la manière dont le terrain de transition métamorphique se trouve disposé par rapport à la syénite du massif des ballons.

Dans les régions occidentale et centrale du groupe, le terrain de transition serait à la base des montagnes ; il est dominé par la syénite, qui constitue les deux ballons de Servance et de Giromagny, le Kleinlangenberg, etc.

Tandis qu'au S.-E., et surtout au N.-E., la syénite pénètre dans le fond des vallées comme au haut de la vallée de Giromagny, dans celle de Massevaux en amont de Sewen, comme auprès des petits lacs de Sternensée et de Neueweyer ; ou bien elle forme des collines surbaissées semblables à celle qui sépare les vallons de Rimbach et de Harmsbach.

Dans cette dernière région, c'est la syénite qui est dominée par les roches de transition, et les couches déchirées de ce dernier constituent une portion d'enceinte dont les bords éraillés des assises supérieures forment le couronnement, enceinte dont Harben est à peu près le centre.

En d'autres termes, dans la région centrale et occidentale du groupe des ballons, la roche soulevante a produit son effet d'une manière complète, et elle constitue des protubérances arrondies dont le pied est recouvert par les débris des couches qu'elle a traversées de part en part.

Dans la région nord-est, les assises ont été soulevées aussi; elles ont été rompues, mais seulement traversées partiellement par la roche soulevante, qui, au lieu d'atteindre le niveau le plus élevé, se montre au fond d'une espèce de cratère de soulèvement où la section irrégulière des couches fracturées constitue les parois internes. »

M. Delesse communique le Mémoire suivant sur *la syénite du ballon d'Alsace*. (Voir les *Annales des Mines*, 1848, t. XIII, p. 667. Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges. —Syénite du ballon d'Alsace.)

M. Charles Martins rend compte à la Société des observations faites dans la journée sur les terrains erratiques. En sortant de Bussang par la route de Saint-Maurice et du Ballon, la Société a traversé une des plus grandes moraines frontales qui existent dans les Vosges. Elle a plusieurs kilomètres de longueur; elle est formée par une suite de mamelons arrondis et allongés qui s'étendent dans le fond de la vallée de la Moselle, depuis le village de Bussang jusqu'un peu en amont de Saint-Maurice. Ces monticules s'élèvent à une soixantaine de mètres au-dessus du lit de la Moselle. M. Martins a fait observer que sur la rive droite, contre la montagne, la moraine devenant latérale, a donné lieu à l'existence d'un certain nombre de *terrasses parallèles*, de grandes marches d'escaliers superposés les uns au-dessus des autres, suivant des plans horizontaux, disposition qui porte M. Martins à croire que l'eau les a postérieurement remaniées.

Le ballon d'Alsace.

A Saint-Maurice, la Société a quitté la vallée de la Moselle pour gravir le ballon d'Alsace.

Blocs déplacés. Près du sommet du ballon, sur son revers N.-O., on a remarqué des amas de blocs métriques gisant épars sur le sol, blocs de syénite à grands cristaux de feldspath

rosé, de qualité identique avec la roche qui constitue le massif du ballon. Ces blocs ne sont plus à leur place primitive : ils en ont été arrachés et transportés à une petite distance ; ils ne paraissent pas avoir roulé d'un point supérieur ; ils sont sur une espèce de plateau, trop près du sommet pour qu'on puisse admettre cette supposition ; ils ne proviennent pas non plus de roche délitée. Ces amas de blocs, dans les régions supérieures des Vosges, ont été remarqués par M. Collomb, aux alentours du sommet du Hohenek et sur d'autres points élevés de la chaîne. On les a également signalés dans la forêt Noire, où il en existe de véritables champs, très voisins des points culminants. Les Allemands les ont désignés sous le nom de *Teufelsmühlen*. Nous proposerons de les indiquer sous le nom de *blocs sporadiques*, pour les distinguer de ceux qui sont véritablement erratiques et qui ont cheminé sur le dos des glaciers.

Résumé.

Dans sa course de dix jours dans les Vosges, course qui n'a pas toujours été favorisée par le beau temps, la Société a eu l'occasion de voir, dans toutes les vallées qui rayonnent autour du système, des accidents erratiques variés et nombreux ; des moraines frontales, soit stratifiées, soit non stratifiées, placées au fond des vallées, dans une position caractéristique ; des moraines latérales représentées par des amas considérables de blocs ou par des bourrelets, des plis horizontaux du terrain, sur le flanc des montagnes, et des moraines par obstacle. Puis chacun des membres de la Société prenant part aux courses a pu recueillir sur place des exemplaires concluants de roches striées et de galets rayés. La Société a pu remarquer que, dans tous ces accidents, l'eau à l'état de glace n'avait pas agi seule, mais que l'eau à l'état liquide était intervenue postérieurement, d'une manière très énergique : 1° soit comme courant puissant et rapide ; 2° comme torrent, ruisseau ou ruisselet ; 3° à l'état de repos, comme lac, étang.....

1° *Comme courant puissant*, l'eau est intervenue dans les terrains erratiques des Vosges, en coupant les moraines, en les démantelant, en dispersant leurs débris, en les étalant sous forme de nappe, et donnant naissance aux terrains de comble-

ment qu'on rencontre dans toutes les vallées. Cette action de l'eau comme courant rapide peut encore se concevoir de deux manières : l'une de grande énergie, ayant eu lieu à une époque correspondant à une fusion partielle et accidentelle des glaciers, époque où des courants d'eau d'une puissance considérable ont entraîné les débris arrachés primitivement aux Vosges par les forces erratiques, les ont conduits au delà des limites du système et répandus dans les pleines de la Moselle, de la Meurthe, du Rhin. L'autre action est celle qui s'exerce encore de nos jours, dans des limites infiniment plus restreintes; les cours d'eau, réduits aux proportions que nous leur connaissons, n'exercent plus sur les terrains de transport qu'une action considérablement réduite.

2° *Comme torrent, ruisseau ou ruisselet.* L'eau est intervenue pendant l'époque même où les glaciers existaient dans les Vosges. Les glaciers, par leur mouvement de progression, transportaient des débris de roches sur un point donné, et en même temps des ruisseaux et ruisselets sillonnant leur surface entraînaient les graviers et les sables; ils les réunissaient sur le même point et donnaient lieu à des *moraines frontales stratifiées.* Cette action des petits cours d'eau circulant à la surface des glaciers a été peu observée jusqu'à présent; l'effet qu'ils produisent de nos jours sur les glaciers en activité est peu sensible. Mais si l'on considère que, dans les anciens temps, le grand glacier de la Moselle, par exemple, avait 36 kilomètres de longueur, qu'il était appelé à frotter des masses où le grès vosgien et le grès bigarré entraient pour une bonne part, on comprendra que ces ruisseaux aient pu entraîner une très grande quantité de sable. — *Comme torrent,* l'eau a marqué son action pendant l'époque glaciaire; lorsqu'elle descendait des vallons latéraux et venait butter contre un grand glacier, elle donnait lieu à des petits lacs et à de *moraines latérales remaniées.*

3° *Comme lac, étang, marais.* L'eau renfermée dans l'enceinte d'un bassin tranquille n'a donné lieu qu'à des effets peu sensibles sur le relief du sol. La Société a remarqué que la plupart des lacs des Vosges étaient le résultat d'un barrage produit

par les moraines terminales; ils subsistent comme effet, mais ils n'entrent que pour une faible part dans le nombre des causes agissantes.

De la disparition des anciens glaciers.

Parmi les faits relatifs à l'existence des anciens glaciers, la Société a remarqué dans toutes les vallées qu'elle a explorées, que les moraines frontales étaient toutes placées dans le fond des vallées, à une certaine distance les unes des autres, par échelons parallèles, quelquefois très rapprochés, d'autres fois à plusieurs kilomètres de distance, dans la même vallée, sur le terrain qui a porté le même glacier. D'un autre côté, on sait que les glaciers en activité, s'ils ont plusieurs moraines superficielles, n'ont jamais qu'une seule moraine frontale, d'où l'on peut conclure avec toute certitude de ce fait de l'échelonnement des moraines, que les anciens glaciers des Vosges ont disparu de la surface du sol par une révolution lente et intermittente qui doit avoir embrassé un nombre considérable de siècles.

De la calotte de glace. L'hypothèse d'une calotte de glace recouvrant tous les sommets des Vosges n'est pas encore arrivée à l'état de démonstration scientifique. Toutefois, les faits recueillis jusqu'à présent sur cette singulière époque, et qui ont passé sous les yeux de la Société, semblent justifier cette opinion. La forme arrondie et moutonnée de tout le système, la présence, dans le voisinage des sommets élevés, de champs de blocs déplacés, et l'absence, dans les moraines les plus inférieures, de matériaux provenant de ces mêmes points, sont autant de faits difficiles à expliquer si l'on rejette cette hypothèse.

Séance du 21 septembre 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

Le mauvais temps n'ayant pas permis à la Société de suivre l'itinéraire qui avait été adopté, elle retourne sur ses pas par la route du ballon de Giromagny.

La séance est ouverte à huit heures dans le salon de l'hôtel de ville de Remiremont.

M. Delesse, secrétaire, rend compte de l'excursion de la journée.

Un peu avant d'arriver à la maison Bonaparte, la Société observe dans la syénite un filon dont l'exploitation avait été entreprise récemment par la Société des mines de Giromagny. Ce filon, dont les allures sont très irrégulières, avait d'abord présenté une assez grande richesse à l'affleurement; mais bientôt il s'est perdu sans qu'il ait été possible jusqu'à présent de retrouver sa trace, et à cause de la dureté de la roche encaissante, qui est la syénite, il a été abandonné. Le filon paraît se diriger à peu près N. 30° E. Son pendage est considérable; il a une largeur d'environ 1 mètre.

Les minéraux qu'il présente sont le quartz, du feldspath orthose d'un rose rougeâtre, un mica noir à éclat résineux formant quelques lamelles assez rares, du sulfate de baryte, ainsi que de la chlorite pailletée. — Les minerais sont la pyrite de cuivre, le cuivre gris, quelques composés cuprifères en petite quantité qui paraissent provenir de la décomposition des premiers minerais, tels que le carbonate de cuivre, l'arséniate et l'hydrosilicate; il y a en outre du molybdène sulfuré, de la pyrite de fer blanche cristallisée en cubes, du fer oligiste, etc.

A Saint-Maurice, la Société a consacré quelques instants à l'examen de blocs de la syénite du ballon, qui se laisse facilement tailler, et qui est employée pour la construction d'un pont.

Au Pont-Jean, elle a rencontré des blocs de syénite où le feldspath andésite a un tout autre aspect que dans les syénites des ballons de Saint-Maurice et de Servance : il est jaune de miel, et il passe par altération au rouge corail.

La Société, en montant aux anciennes mines du Tillot, a passé encore une fois sur un lambeau de terrain de transition; il est caractérisé par des schistes compactes, mais fendillés et décomposés.

Aux anciennes mines, elle a recueilli des échantillons de molybdène sulfuré provenant d'exploitations entreprises autrefois sur des filons qui ont même composition et même gisement que celui du ballon. On a pu choisir aussi de beaux échantillons de

feldspath orthose rose, qui accompagne le molybdène sulfuré.

La Société a observé ensuite plusieurs variétés de diorites, sur tout le revers où se trouvent les mines du Tillot : tantôt elles sont granitoïdes, tantôt elles sont schistoïdes, tantôt elles présentent la structure orbiculaire ; le plus ordinairement elles sont très riches en amphibole hornblende, qui a une couleur verte, et l'on ne peut même reconnaître le feldspath qu'aux taches blanches qui résultent de sa décomposition à l'air : c'est ce qu'on voit surtout au Pont-Jean, où la roche semble quelquefois être presque entièrement formée d'amphibole, et mérite alors le nom d'*amphibolite*.

Séance des 22-23 septembre 1847.

PRÉSIDENCE DE M. HOGARD.

La Société retourne à Epinal, et elle se réunit à trois heures, pour la séance de clôture, chez M. Hogard, président. Après avoir consacré quelque temps à l'examen de ses collections géologiques et de divers dessins relatifs aux phénomènes erratiques dans les Vosges, sur l'invitation de M. le président, elle entend la communication suivante, qui lui est faite par M. Delesse (1) :

La substance fibreuse asbestiforme qui se trouve en filons, dans la serpentine des Vosges, est du *Chrysotil* dont la composition est : *silice* 41,58, *alumine* 0,42, *protoxyde de fer* 1,69, *magnésie* 42,61, *eau* 13,70. Sa composition est donc identique avec celle de la serpentine noble.

M. Delesse donne ensuite lecture d'un mémoire sur le *porphyre de Ternuay* (2).

Les minéraux constituants de ce porphyre, qui est désigné sous le nom d'*Ophitone* par M. Cordier, sont essentiellement un *feldspath* verdâtre et de l'*augite* vert clair qui ont la composition suivante :

---

(1) Voir, pour de plus grands détails, *Bibliothèque universelle de Genève*, avril 1848, t. VII, p. 116, sur le Chrysotil des Vosges.

(2) Voir *Annales des Mines*, 1847, t. XII, p. 283. — *Mémoire sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges. — Porphyre de Ternuay.*

	Feldspath.	Augite.
Silice.	49,52	49,00
Alumine.	30,07	5,00
Oxyde de fer.	0,70	7,19
Oxyde de manganèse.	0,60	traces
Chaux.	4,25	18,78
Magnésie.	1,96	15,95
Soude.	4,85	»
Potasse.	4,45	»
Eau.	3,15	2,26

Il contient en outre un peu de fer oxydule qui est engagé dans les cristaux d'augite.

On peut admettre que la composition moyenne de ce porphyre est : *silice* 49, *alumine* 24, *oxyde de fer et de manganèse* 3, *chaux* 8, *magnésie* 6, *soude* 4, *potasse* 3, *eau* 3.

M. Guibal communique à la Société les premières planches de sa collection de dessins des fossiles du département de la Meurthe.

Il n'a encore terminé que le grès bigarré. .	14 espèces.
Le muschelkalk	114
Le keuper	6
Total pour le trias. . .	134
Lias.	254
Il a commencé l'oolithe dont il a déjà dessiné	130
Total.	548

Quoique l'oolithe supérieure ne se trouve pas dans la Meurthe, il compte en dessiner également les fossiles pour compléter le calcaire jurassique.

La Société témoigne avec instance à l'auteur le désir qu'elle aurait de voir ces planches lithographiées.

A la suite de cette communication, M. Delesse présente *quelques considérations sur l'ordre de succession des minéraux qui se trouvent en filons dans l'arkose des Vosges* (1).

L'arkose de la Poirie, près Remiremont, est traversée par une multitude de filons qui la pénètrent en tous sens et qui ne paraissent pas avoir une direction constante. On peut observer que les substances minérales qui forment ces filons se sont succédé dans un ordre déterminé, qui est le même pour toutes et qui marque leur ancienneté relative; cet ordre est celui dans lequel elles se présentent de la salebande à la ligne médiane du filon.

(1) Voir *Bibliothèque universelle de Genève.* — Sc. phys., t. VIII (mars 1848), p. 177.

En commençant par les plus anciennes on a d'abord le *quartz*.

Quartz. — Quelquefois le filon est uniquement formé de quartz, mais quand il est accompagné d'autres minéraux il repose toujours immédiatement sur la salebande. Le plus ordinairement il est à l'état de quartz hyalin, très brillant, les axes de ses cristaux étant à peu près perpendiculaires aux épontes: quelquefois cependant, surtout au contact de la salebande, il est rougeâtre ou blanchâtre ; à la base de l'arkose on trouve d'ailleurs près de la Poirie des filons quartzeux bréchiformes qui empâtent des fragments anguleux de quartz ayant toutes les nuances du brun rougeâtre et surtout du rouge.

Fer oligiste. — Après le quartz est venu le *fer oligiste* qui le recouvre en enduits très minces et qui tapisse même les fissures les plus étroites de la roche. Il est très éclatant et cristallisé, ses cristaux sont très surbaissés dans l'axe du rhomboèdre, et, contrairement à ce qui a lieu pour le quartz, ils sont assez généralement disposés de manière que cet axe soit parallèle aux épontes; leur forme est du reste celle du fer oligiste *spéculaire* des volcans, et par conséquent ils doivent, comme ce dernier, avoir été formés par sublimation.

Baryte sulfatée. — En dernier lieu est venue la *baryte sulfatée* qui est blanche ou rosâtre, elle est toujours cristallisée et elle a une structure radiée, laminaire ou crêtée, l'axe du prisme rhomboïdal droit étant, comme pour le fer oligiste, parallèle aux épontes.

Chaux fluatée. — On trouve encore dans ces filons de la *chaux fluatée* verdâtre et des empreintes cubiques lui appartenant, qui sont moulées dans du quartz calcédoine, par conséquent ses cristaux étaient formés avant la venue du quartz; mais d'un autre côté on en rencontre aussi en veines intimement engagées dans le sulfate de baryte; il semblerait donc résulter de là que la chaux fluatée a paru plusieurs fois et à différentes époques de la formation du filon.

La *chaux fluatée*, le *quartz*, le *fer oligiste*, la *baryte sulfatée* sont les minéraux des filons qui coupent l'arkose de la Poirie et il importe de bien remarquer qu'ils ne se trouvent pas seulement dans les filons mais qu'ils ont aussi pénétré très souvent jusque dans la masse même de la roche. C'est d'ailleurs ce qu'il est facile de concevoir si l'on observe qu'étant formée de grès elle pouvait se laisser traverser assez facilement par des émanations, telles que celles qui ont donné lieu à la formation du fer oligiste.

MM. de Bonnard, Dufrénoy et E. de Beaumont, Leymerie, Virlet, Moreau, ainsi que les géologues qui se sont occupés de l'étude de l'arkose dans la Bourgogne, ont depuis longtemps fait

remarquer l'importance du rôle joué par le quartz; comme c'est aussi le quartz qui domine dans les filons des Vosges tels que ceux de la Poirie, de Faymont, d'Hérival, etc., qui viennent d'être décrits, on peut caractériser et résumer les modifications complexes que ces filons ont produites dans la roche transformée en ARKOSE en disant qu'ils ont donné lieu à une SILICIFICATION.

Après avoir adressé des remercîments à MM. les membres présents, M. le président (1) prononce la clôture de la session extraordinaire dans les Vosges, pour l'année 1847.

---

(1) M. Hogard ajoute ce qui suit aux observations qu'il a présentées dans la séance du 14 septembre (voir p 1414), sur la présence du vieux grès rouge dans les Vosges.

La puissance moyenne du grès rouge, au val d'Ajol et à la Poirie, est de 150 mètres; celle de l'arkose, dans ces deux localités, est de 200 mètres (moyennement).

Si à la Rèche, l'arkose s'est formée aux dépens du grès rouge, par métamorphisme, il faudra bien admettre qu'il y a un foisonnement, puisque la puissance de ce dernier terrain aurait été augmentée de 50 mètres, c'est-à-dire d'un tiers en sus.

L'arkose ayant aussi moyennement 200 mètres à la Poirie, il y aurait eu la même augmentation

Mais comment expliquer alors ce qu'on observe dans cette dernière localité, où nous rencontrons savoir (en adoptant la même hypothèse) : 200 mètres d'arkose qui se serait produite par la transformation du grès rouge (argiles, grès micacés, grès plus grossiers); puis ensuite, et *par-dessus* l'arkose, la réapparition du grès rouge, depuis sa base formée d'argiles, comme à Faymont (val d'Ajol), au Gehard, etc. (argilolites, pierres à four), jusqu'au grès argileux formant la transition avec le grès des Vosges, et ayant encore ici, comme au val d'Ajol, 150 mètres moyennement de puissance; soit en totalité 350 mètres, répartis ainsi qu'il suit :

200 mètres d'arkose représentant la masse métamorphique du grès rouge après foisonnement de 50 mètres, et recouverts par 150 mètres de grès rouge non métamorphique.

Si ces observations ne paraissent pas concluantes, nous serons bien autrement embarrassés lorsqu'il nous faudra discuter la séparation du grès des Vosges et du grès bigarré.

BRITISH MUSEUM NATURAL HISTORY

BULLETIN

DE LA

SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

TABLE

DES MATIÈRES ET DES AUTEURS

POUR LE QUATRIÈME VOLUME.

(DEUXIÈME SÉRIE.)

Année 1846 à 1847.

A

Adour (*Bassin de l'*). Craie, p. 712. — Terrain à Nummulites, p. 540, 566, 715, 1006. — Ophites, p. 722.

Albanie. Dolomie à fossiles crétacés, p. 426.

Allemagne septentrionale. Indications relatives au phénomène erratique, p. 52. — Cause du transport des blocs erratiques, p. 170.

Allier. Mammifères fossiles, p. 378.

Alpes. Dépôts de transport, p. 80 et 83. — Comparaison des phénomènes erratiques avec ceux du nord de l'Europe, p. 182. — Ancienne extension des glaciers, p. 103, 118. — Galets striés, p. 301. — Roches striées, p. 92. — Érosions sur les rochers, p. 74. — Pente moyenne des glaciers, p. 119.

Alpes autrichiennes. Gîtes de fossiles, p. 166, 423.

Alpes bernoises. Coins calcaires dans le gneiss, p. 208 et 406.

Alpes suisses occidentales et de la Savoie. Position relative des terrains, p. 996.

Angelot. Mode de formation du granite, p. 496. — Sur les geysers, p. 554.

Animaux fossiles du terrain de transition d'Ille-et-Vilaine, p. 320. — Communs aux terrains paléozoïques des Etats-Unis et de l'Europe, p. 688. — Du trias des Vosges, p. 1149. — Du Jura salinois, p. 128. — Du terrain à Nummulites de l'Adour, p. 1010. — *Id.* de l'Aude, p. 1140.

Archiac (d'). Fossiles du terrain à Nummulites du bassin de l'Adour, p. 1006. — Couches traversées par le chemin de fer entre Libourne et Angoulême, p. 1103. — Observations diverses, p. 182, 424, 426, 1014.

Archives. Rapport sur leur état en 1846, p. 1001.

Ardèche. Fossiles des mines de fer de Privas, p. 711, 763.

Ariège. Nature des terres en rapport avec les divers étages de la vallée, p. 825.

Arménie. Terrains paléozoïques, p. 709.

Aude. Terrain à Nummulites, p. 1127.

Autriche (*Basse*). Fossiles dans le calcaire secondaire, p. 158. — Fossiles du coral-rag, p. 162. — Étages tertiaires divers, p. 165. — Mammifères fossiles, p. 159.

Autriche (*Haute*). Céphalopodes fossiles, p. 159. — Orthocère réunie à une Ammonite, p. 155. — Caprine, p. 583. — Traces d'anciens glaciers, p. 155. — Lac de Hallstadt, p. 156.

Avis sur la rédaction des notes ou mémoires destinés aux publications de la Société, p. 402, 587.

Aymard. Ossements humains et Mastodonte fossiles du Puy (Haute-Loire), p. 412.

B

Bavière. Position relative des couches à Fucoïdes et à Nummulites, p. 158.
Beaumont (Élie de). Sur la série des couches entre le grès vert et le calcaire grossier, p. 562. — Sur les systèmes de montagnes les plus anciens de l'Europe, p. 864 à 991. — Sur les émanations volcaniques et métallifères, p. 1249. — Note relative à l'une des causes présumables des phénomènes erratiques, p. 1334. — Observations diverses, p. 433, 454, 517, 570.
Belgrand. Etudes hydrologiques dans les granites et les terrains jurassiques de la Bourgogne, p. 328.
Bertrand-Geslin. Observation, p. 143.
Bibliographie, p. 5, 120, 146, 206, 300, 398, 405, 422, 431, 460, 506, 556, 573, 587, 710, 762, 993, 1059, 1163, 1380, 1429.
Billy (de). Sur les roches de Framont (Vosges), p. 1412. — Disposition de la syénite des Vosges, p. 1455. — Son opinion sur le terrain erratique des Vosges, p. 1440. — Observations diverses, p. 1424, 1440.
Boissy (de). Coquilles fossiles de Rilly (Marne), p. 177.
Boubée. Sur les terrains tertiaires du bassin de la Gironde, p. 561. — Sur le terrain à Nummulites des Pyrénées, p. 571, 1011. — Rapport entre la nature des terres et l'ancienneté relative des alluvions dans la vallée à plusieurs étages de l'Ariège, p. 825. — Terrasses successives des côtes, p. 1123. — Observations diverses, p. 408, 430, 498, 516, 538, 541, 550, 556.
Boucault présente des fossiles de l'Ardèche, p. 711.
Bouches-du-Rhône. Terrains traversés par le souterrain de la Nerthe, p. 261. — Terrains tertiaires, p. 266. — Reptiles fossiles, p. 265.
Boué. Description de l'atlas des rapports entre l'orographie, l'hydrographie et la géologie du globe terrestre, par M. de Hauslab, p. 147. — Sur les travaux de la Société des sciences naturelles et physico-chimiques de Vienne, p. 154. — Sur les pseudomorphoses du sel gemme, p. 455. — Expédition scientifique turque, p. 1049.
Bourgogne. Etudes hydrologiques dans les granites et les terrains jurassiques, p. 328.
Brésil. Sur le gisement des diamants, p. 157.
Bresse. Sur son terrain lacustre, p. 1085.
Bretagne. Granite à nœuds cristallins, p. 140. — Terrains de transition, p. 323. — Variations de nature des roches pyrogènes, p. 409.
Brie. Hydrologie, p. 373.
Buch (de). Sur des Térébratules et sur l'étendue du terrain à Nummulites, p. 541. — Sur l'île Cherry, p. 764.
Budget pour 1847 p. 435.

C

Calcaire. Gisement du spath d'Islande, p. 768.
Calcaire pisolithique du bassin de Paris, p. 517.
Canat. Terrain lacustre de la Bresse, p. 1085.
Caprine à Gosa, p. 165, 583.
Caractère géologique. Sur sa nature et son application, p. 604.
Caractère paléontologique. Sa valeur en géologie, p. 590.
Carinthie. Terrain éocène, p. 163.
Catullo. Notes diverses sur la géologie de l'Italie, p. 254.
Cephalaspis en Gallicie, p. 164.
Céphalopodes fossiles de la Haute Autriche, p. 159. — Des Alpes autrichiennes, p. 422.
Chaleur due aux sources thermales, produite par le combustible minéral, le combustible végétal, le genre humain, p. 1056.
Chaleur centrale, p. 531.
Chambers. Variations du niveau relatif de la terre et de la mer en Ecosse, p. 432.
Charente-Inférieure. Terrain tertiaire près de Royan, p. 1015.
Charpentier (de). Si les phénomènes erratiques peuvent être attribués à des courants, p. 274.
Chaubard. Observations sur les ter-

rains tertiaires du bassin de la Gironde, p. 393.
Cherry (île), p. 764.
Chili. Fossiles crétacés, p. 507.
Cinabre. Fossiles dans celui de la Carniole, p. 164.
Collegno (de). Sur le trias et la dolomie du Tyrol et le terrain jurassique de l'Italie, p. 576.
Collomb. Ancienne extension des glaciers des Alpes, p. 176. — Sur les dépôts erratiques des Vosges, p. 216, 1426.—Sur l'ancien glacier de Wesserling, p. 1156. — Sur les galets striés des Vosges et de Suisse, p. 301, 433. — Forme des moraines des Vosges, p. 580. — Sur les neiges des Vosges, p. 1047. — Neige jaune au St-Bernard, p. 1093 et 1164.
Comptes du trésorier, p. 167, 509, 574. — Rapport sur les comptes, p. 512.
Coquand. Description géologique de la partie septentrionale du Maroc, p. 1188.
Crioceras en Italie, p. 254, 1101.
Cussy (de). Note sur le sel marin et les mines de soufre de Sicile, p. 255.

D

Damour. Hydrosilicate d'alumine de la Vienne, p. 464. — Sur les geysers de l'Islande, p. 542. — Analyse de la Prédazzite, p. 1050. — Observation, p. 495.
Danemarck. Terrain danien, p. 179. — Puits artésien à Copenhague, p. 768. — Surfaces striées et polies attribuées aux glaces flottantes, p. 1177.
Daubrée. Estimation d'émanations de chaleurs naturelles et artificielles, p. 1056.
Delanoue. Sur le terrain crétacé de la Dordogne, p. 424. — Observations diverses, p. 467, 497, 535.
Delbos. Sur les terrains du bassin de l'Adour, p. 537. — Sur la craie, les terrains tertiaires et les ophites, p. 712. — Sur le terrain tertiaire de Royan et le sondage de Peujard (Gironde), p. 1013. — Observations diverses, p. 496, 540.
Delesse Sur la constitution minéralogique et chimique des roches des Vosges, p. 774. — Sur les verres provenant de la fusion des roches, p. 1380. — Procédé mécanique pour déterminer la composition des roches, p. 1435. — Résultat de la distillation du porphyre de Belfahy, p. 1444. — Chrysotil des Vosges, p. 1461. — Porphyre de Ternuay, p. 1461. — Ordre de succession des minéraux en filons dans l'arkose des Vosges, p. 1462.
De Luc. Cause du transport des blocs erratiques dans le nord de l'Allemagne, p. 170.
Descloizeaux. Sur les geysers de l'Islande, p. 550. — Gisement du spath d'Islande, p. 768.
Deshayes. Observation, p. 181.
Des Moulins. Craie de Maestricht dans la Dordogne, p. 423, 1144. — Sur le rapport entre la nature du sol et la végétation, p. 1109.
Desor. Sur le terrain danien, p. 179. — Oursins fossiles de Patagonie, p. 287. — Pente moyenne des glaciers des Alpes, p. 119. — Sur le phénomène erratique du nord comparé à celui des Alpes, p. 182. — Glaces flottantes de l'océan Atlantique, p. 1044. — Observations diverses, p. 420, 454.
Deville. Sur la soufrière de la Guadeloupe, p. 428.
Diamant. Son gisement au Brésil, p. 157.
Dolomie, à fossiles crétacés de la Haute-Albanie, p. 426, — du Tyrol, p. 576, — du Harz. p. 851.
Dordogne. Terrain crétacé, p 423 — Silex de la craie de Maestricht, p. 1144
Duchassaing Sur la Grande-Terre à la Guadeloupe, p. 1093.
Dufrénoy. Cavités et courants souterrains dans la vallée de la Loire, à Orléans, p. 772. — Observations diverses, p. 405, 508, 517, 538, 541, 561, 570.
Dumont. Sur la valeur du caractère paléontologique en géologie, p. 590.
Durocher, Études sur les phénomènes erratiques de la Scandinavie, avec des indications sur ceux des Alpes et des Pyrénées, p. 29. — Réponse à des remarques de M. Martins, p. 107. — Granite à nœuds cristallins de la Bretagne, p. 140. — Sur

les variations de nature des roches pyrogènes, p. 409, — Sur la cristallisation des roches granitiques, p. 1018. — Observation, p. 120.

E

Elections, commissions, bureau et conseil, p. 403.
Elotherium du bassin de la Gironde, p. 1083.
Emanations volcaniques et métallifères. Marche graduelle des phénomènes chimiques naturels, p. 1249.
Escher de la Linth. Formations du canton de Glaris, p. 1125.
Espagne. Mines de plomb de la partie méridionale, p. 517.
Etats-Unis. Lettre sur sa géologie, p. 12. — Grande orthocère, p. 556. — Parallélisme de ses dépôts paléozoïques avec ceux de l'Europe, p. 646. — Transport de blocs erratiques par les glaces flottantes, p. 1113.

F

Fauverge. Sur des mines de fer de l'Ardèche, p. 763.
Favre. Position relative des terrains des Alpes suisses occidentales et de la Savoie, p. 996.
Finlande. Sur les pierres d'Imatra, p. 20, 27. — Leur analyse, p. 28. — Phénomènes erratiques, p. 50.
Fonseca (de). Sur la Sarcolite et la Mellilite du mont Somma, p. 14.
Forchhammer. Puits artésien à Copenhague, p. 768. — Sur les surfaces polies et striées du Danemarck, attribuées à l'action des glaces flottantes, p. 1177.
Fournet. Résultats d'une exploration des Vosges. Roches éruptives, p. 220. — Métamorphisme, p. 230. — Classification des porphyres, p. 240. — Pseudomorphose, p. 247. — Réactions aqueuses sur les filons métallifères, p. 250. — Réclamation, p. 1017.
Frapolli. Sur le gneiss, p. 408. — Sur les collines hærcyniennes au nord du Harz, p. 727. — Faits pour l'histoire des dépôts de gypse, de dolomie et de sel gemme, p. 832. — Sur la nature et l'application du caractère géologique, p. 604. — Sur le phénomène erratique du nord attribué aux glaces flottantes, p. 416, 1046, 1164, 1176.

G

Galles (*Pays de*). Terrains de transition, p. 766.
Gallicie. Terrains de transition, p, 165.
Géographie botanique. Ses rapports avec la géognosie, p. 555, 1109.
Géographie physique. Rapports entre l'orographie, l'hydrographie et la géologie, p. 147.
Geysers de l'Islande, p. 542.
Gironde. Sondage de Peujard, p. 1014.
Gironde (*Bassin de la*). Couches traversées par le chemin de fer entre Libourne et Angoulême, p. 1103. — Notes sur les terrains tertiaires, p. 393 et 395, 561. — Elotherium, p. 1083.
Glaces flottantes transportant des blocs erratiques de Scandinavie et de l'Amérique du Nord, p. 1113 — Agents des phénomènes erratiques du Nord, p. 416, 1046, 1164, 1176. — De l'Atlantique, p. 1044.
Glaciers. Lenteur de la fusion des anciens glaciers, p. 269. — Leur ancienne extension en Scandinavie, p. 70, 98, 107; — dans les Alpes, 103, 176; — dans la Haute-Autriche, 155. — Anciennes moraines à Remiremont (Vosges), p. 288, 433. — Anciens glaciers de Wesserling, p. 1156. — Forme des moraines des Vosges, p. 580. — Anciens glaciers à Lure (Haute-Saône), p. 296; — dans le Jura, p. 462.
Grange. Observation, p. 421.

Granite. Sur sa nature plutonique, p. 475. — A nœuds cristallins de la Bretagne, p. 140.
Granitiques (*Roches*). Recherches sur leur cristallisation, p. 1018.
GRAVES. Observation, p. 181.
Guadeloupe. Sur la soufrière, p. 428. — Sur la Grande-Terre, p. 1093.
GUIBAL. Fossiles de la Meurthe, p. 576, 1462.
Gypses. Gisement et origine de ceux du Harz, p. 833.

H

Hœcyniennes (*Collines sub-*) au nord du Harz, leur constitution géologique, p. 727. — Gisement et origine des gypses, p. 833. — *Id.* des dolomies, p. 851. — *Id.* du sel gemme, p. 853.
HAIDINGER. Métamorphoses du fer hydroxydé, p. 158. — Sur le périclin, p. 164.
HAUER. Orthocère réunie à une Ammonite de Hallstadt (Haute-Autriche), p. 155.—Fossiles dans le calcaire secondaire de Vienne, p. 158.—Céphalopodes fossiles de la Haute-Autriche, p. 159.--Terrain éocène en Carinthie, p. 163. — Caprine de Gosa, p. 165, 583. — Fossiles dans les Alpes autrichiennes, p. 166. — Trois étages à Céphalopodes, dans les Alpes autrichiennes, p. 422.
HÉBERT. Note sur le calcaire pisolithique du bassin de Paris, p. 517. — Observations diverses, p. 498, 604.
HELMREICHEN. Gisement du diamant au Brésil, p. 157.
HOGARD. Sur les roches de Faimont (Vosges), p. 1414, 1464. — Sur les moraines des Vosges, p. 1438.
HOMBRES-FIRMAS (D'). Térébratules nouvelles du Gard, p. 1018.
Homme fossile du Puy (Haute-Loire), p. 412.
Hongrie. Basaltes de Kremnitz, p. 164.
Hydrologie générale, p. 375. — Des granites et des terrains jurassiques de la Bourgogne, p. 328. — De la Brie, p. 373.
Hydrosilicate d'alumine de la Vienne, p. 168, 464; — de Milo, p. 468.

I

Ille-et-Vilaine. Trilobites et autres fossiles, p. 309.
Imatra (*Pierres d'*). Leur analyse, p. 28.
Inde. Fossiles crétacés, p. 507.
Inondations du Cotapaxi et de Bagne, p. 280, 1350, 1356.
Islande. Sur les geysers, p. 542.—Gisement du spath calcaire, p. 768.
Isomorphisme de l'eau, p. 468, 1015.
Isomorphisme polymère, p. 469.
Italie. Terrain jurassique, p. 579. — Calcaire rouge ammonitifère, p. 1061.

J

JOURDAN. Observation, p. 1424.
Jura. Recherches géologiques sur le Jura salinois, p. 135.
Jura. Existence des groupes portlandien et kimméridien dans cette chaîne, p. 121. — Sur les hautes sommités entre la Dole et le Reculet, p. 436. — Anciens glaciers, p. 42.

K

KEYSERLING. Sur la Nouvelle-Zemble, p. 11. — Lettre sur la géologie de la Russie, p. 589.

L

LE BLANC. Observation, p. 559.
Leptynite des Vosges, p. 1395.

Levallois. Sur la roche ignée d'Essey-la-Côte (Meurthe), p. 1443. — Observation, p. 1440.
Leymerie. Terrain à Nummulites des Pyrénées, p. 560. — Observations, p. 561, 570.
Loire (Haute-). Homme et Mastodontes fossiles, p. 412.
Loiret. Cavités et courants souterrains près d'Orléans, p. 772.

M

Maissin (de). Envoi de roches, p. 301.
Mammifères fossiles du bassin de Vienne, p. 159. — Nouveaux de l'Allier, p. 578.
Marcou. Sur l'existence des groupes portlandien et kimméridien dans les monts Jura, p. 121. — Recherches géologiques sur le Jura salinois, p. 135. — Sur les hautes sommités du Jura comprises entre la Dole et le Reculet, p. 436. — Observations diverses, p. 454, 575.
Marnes. Coquilles fossiles de Rilly, p. 177.
Maroc. Description géologique de la partie septentrionale, p. 1188.
Martins. Coins calcaires dans le gneiss des Alpes bernoises, p. 214. — Présente des échantillons de gneiss des Alpes suisses, p. 406. — Remarques sur les Études sur les phénomènes erratiques de la Scandinavie, par M. Durocher, avec des indications sur ceux des Alpes et des Pyrénées, p. 89. — Objections à la note de M. Frapolli, p. 420, 1185. — Transport de blocs erratiques de la Scandinavie et de l'Amérique du Nord, par des glaces flottantes, p. 1113, 1187. — Lac de Gérardmer, p. 1441. — Résumé des observations de la Société sur les phénomènes erratiques des Vosges, p. 1456. — Observations diverses, p. 215, 407, 408, 409, 421, 1400, 1420, 1451.
Mastodonte de la Haute-Loire, p. 412.
Mathieron. Terrains traversés dans le souterrain de la Nerthe, près Marseille, p. 261.
Mauduyt. Sur un morceau de quartz et un silicate de chaux et de magnésie, p. 168.
Mellilite. Sa description, p. 18.
Membres nouveaux, p. 5, 146, 206, 300, 405, 422, 430, 460, 506, 536, 572, 587, 710, 762, 993, 1059, 1163.
Métamorphisme normal, p. 498. — Dans les roches des Vosges, p. 230.
Meurthe. Fossiles, p. 576. — Roche ignée d'Essey-la-Côte, p. 1443.
Michelin. Sur un polypier, p. 1434. — Observations diverses, p. 181, 426, 538, 540, 604.
Milo. Hydrosilicate d'alumine, p. 468.
Minéraux. Leur ordre de succession dans les filons de l'arkose des Vosges, p. 1462.
Mollusques fossiles de Rilly (Marne), p. 177.
Montagnes. Systèmes les plus anciens de l'Europe (Vendée, Finistère, Longmynd, Morbihan, Westmoreland et Hundsrück), p. 864 à 991.
Morlot. Position relative des couches à Fucoïdes et à Nummulites en Bavière, p. 158.
Mougrot. Sur des fossiles du terrain triasique des Vosges, p. 1429
Mousson. De la fusion nécessairement lente des anciens glaciers, p. 269.
Murchison. Terrain de transition du pays de Galles, p. 766.

N

Neiges sur les Vosges, p. 1047. — Neige jaune au Saint-Bernard, 1093, 1164.
Nevropteris (Nouveau) du trias des Vosges, p. 1429.

O

Oise. Terrain danien à Laversine, p. 179.
Omalius d'Halloy (d'). Sur l'hypothèse de la chaleur centrale du globe, p. 531. — Observation, p. 215, 467, 495, 497, 516, 604.

Ophites du bassin de l'Adour, p. 722.
Orbigny (Alcide d'). Fossiles crétacés du Chili et de l'Inde, p. 507.
Orthocère réunie à une Ammonite de Hallstadt (Haute-Autriche), p. 155; — gigantesque des Etats-Unis, p. 556.
Oursins fossiles de Patagonie, p. 287.

P

Paillette. Sur les mines de plomb du midi de l'Espagne, p. 522. — Observation, p. 540.
Palæotherium, p. 584.
Paris (*Bassin de*). Calcaire pisolithique, p. 517, 564.
Parrot. Observation en réponse à M. Virlet sur les pierres d'Imatra, p. 20.
Patagonie. Oursins fossiles, p. 287.
Pentacrinites en Lombardie, p. 255.
Perrey. Sur les tremblements de terre, p. 1399.
Phénomènes erratiques. Ne peuvent être attribués à des courants, p. 274. — Sur une de leurs causes présumables, par M. Elie de Beaumont, p. 1334. — Etudes sur ceux de Scandinavie, par M. Durocher, p. 29. — — Ceux du Nord comparés à ceux des Alpes, p. 182. — Attribués à l'action des glaces flottantes, par M. Frapolli, p. 416, 1046, 1164, 1176. — *Id.* à l'action des vagues, par M. Weibye, p. 1169. — Dans le nord de l'Allemagne, par de Luc, p. 170. — Des Vosges, p. 216.
Piémont. Indications géologiques, p. 53, 55.
Pilla. Sur le calcaire rouge Ammonitifère de l'Italie, p. 1062.
Planches du Bulletin. I, p. 13; II, p. 296; III, p. 328; IV, p. 385; V, p. 727; VI, p. 1077; VII, p. 1162; VIII et IX, p. 1174; X, p. 1248. — Figures dans le texte, p. 176, 210, 211, 453, 520, 541, 566, 597, 598, 696, 697, 755, 997, 998, 1023, 1024, 1061, 1089, 1322, 1404.
Plomb. Mines dans le sud de l'Espagne, p. 522.
Pomel. Animaux vertébrés fossiles de l'Allier, p. 378. — Sur le genre Ptérodon, 385. — Sur l'homme fossile du Puy en Velay, p. 412. — Sur le genre Palæotherium, p. 584. — Sur le genre Elotherium, p. 1083. — Observation, p. 1100.
Porphyre de Belfahy (Haute-Saône), p. 792, 1444.
Prédazzite du Tyrol. Son analyse, p. 1050.
Prévost (C.). Note sur les terrains tertiaires du bassin de la Gironde, p. 395. — Sur les marnes à rétraits pyramidaux, p. 458. — Sur le terrain à Nummulites, p. 539. — Observations diverses, p. 521, 575.
Ptérodon. Genre voisin des Dasyures, p. 385.
Puton. Sur le Leptynite des Vosges, p. 1395 et 1405. — Sur les roches de Faimont, p. 1414. — Observations diverses, p. 1423, 1424, 1438.
Pyrénées. Terrain à Nummulites, p. 560, 570. 1127. — Erosions sur les rochers, p. 74, 77. — Dépôts de transport, p. 80, 83. — Phénomènes erratiques, p. 274, 1345 à 1370.

R

Raquin. Mines de fer du lias de Saône-et Loire, p. 304.
Reptile des Bouches-du-Rhône, p. 265. — De l'Allier, p. 382.
Rivière. Réclamation au sujet de l'isomorphisme de l'eau, p. 1015. — Observation, p. 407.
Roches éruptives des Vosges, p. 240.
Rose (G.). Serpentine métamorphique de Silésie, p. 1061.
Rouault (Marie). Sur les Trilobites d'Ille-et-Vilaine, p. 309.
Royer. Moraines d'anciens glaciers près de Remiremont (Vosges), p. 288, 1418. — Dans le Jura, p. 462.
Rozet. Notes sur l'hydrologie, p. 375. — Observation sur le gneiss, p. 407. — Rapport sur la gestion du trésorier pendant l'année 1846, p. 512. — Observations diverses, p. 215, 308, 421, 433, 521, 513, 575.
Russie. Notes géologiques, p. 589.

S

SALVÉTAT. Analyse d'une pierre nodulaire d'Imatra, p. 28. — Analyse d'un hydrosilicate d'alumine de la Vienne, p. 464.
Saône (Haute-). Porphyre de Belfahy, p. 792. — Spilite de Faucogney, p. 820 — Traces d'anciens glaciers à Lure, p. 296.
Saône-et-Loire. Mines de fer dans le lias, p. 304.
Sarcolite. Sa description, p. 14.
Scandinavie. Variations de nature des roches pyrogènes, p. 409. — Etudes sur ses phénomènes erratiques, par M. Durocher, p. 29. — Réponse par M. Martins, p. 89. — Réplique de M. Durocher, p. 107. — Comparaison de ses phénomènes erratiques avec ceux des Alpes, par M. Desor, p. 182. — Ils sont attribués à l'action des glaces flottantes, par M. Frapolli, p. 416, 1164. — A celles des vagues, par M. Weibye, p. 1169. — Transport de blocs erratiques par les glaces flottantes, p. 1115.
SCHERRER. Sur la nature plutonique du granite et des silicates cristallins qui s'y rattachent, p. 468.
Sel gemme. Sur ses pseudomorphoses, p. 455. — Ses gisement et origine dans le nord de l'Allemagne, p. 853.
Sel marin récolté en Sicile, p. 256.
Sicile. Sel marin et mines de soufre, p. 255.
Silésie. Serpentine métamorphique, p. 1161.
Silicates cristallins qui se rallient au granite, leur nature plutonique, p. 475.
SIMONY. Extension des anciens glaciers dans la Haute-Autriche, p. 155. — Sur le lac de Hallstadt, p. 156. — — Origine des cavernes, p. 159.
Soufre. Son extraction en Sicile, p. 257.
Soufrière de la Guadeloupe, p. 428.
Spilite de Faucogney (Haute-Saône), p. 820.
STUDER. Coins calcaires dans le gneiss des Alpes bernoises, p. 208.
Suisse. Formations du canton de Glaris, p. 1125.

T

TALLAVIGNES. Terrains à Nummulites de l'Aude et des Pyrénées, p. 1127 et 1162.
Térébratules, p. 541, 1018.
Terrain crétacé du bassin de l'Adour, p. 713; — supérieur du Périgord, p. 1144; — et à Nummulites du Maroc, p. 1223.
Terrain danien à Beauvais et en Danemarck, p. 177.
Terrain éocène en Carinthie, p. 163.
Terrain jurassique de l'Italie, p. 579, 1062; — du Maroc, 1214, — supérieur dans les monts Jura, p. 121.
Terrains modernes du Maroc, p. 1238.
Terrain à Nummulites. Son étendue, p. 543; — de l'Adour, p. 537, 715, 1006; — des Pyrénées, p. 560, 570; — des Pyrénées et de l'Aude, p. 1127; — du Maroc, 1228.
Terrain primitif et de transition du Maroc, p. 1196.
Terrain secondaire supérieur, p. 564.
Terrain triasique en Tyrol, p. 576.
Terrains tertiaires des Bouches-du-Rhône, p. 286; — de la Guadeloupe, p. 1093; — du Maroc, p. 1235.
THURMANN. Relations entre la géographie botanique et la géognosie, p. 575. — Observation, p. 576.
Trilobites d'Ille-et-Vilaine, p. 309.
Tyrol. Présence du trias, dolomies, p. 576. — Analyse de la Prédazzite, p. 1050.

V

Vagues. Agent des phénomènes erratiques du Nord, p. 416, 1046, 1164, 1169.
VECCHI. Sur la montagne de Cetona en Toscane, p. 1079.
VERNEUIL (DE). Lettre sur la géologie des Etats-Unis, p. 12. — Sur les terrains de transition de Bretagne, p. 323. — Sur une grande orthocère des Etats-Unis, p. 556. — Pa-

rallélisme des dépôts paléozoïques de l'Amérique septentrionale avec ceux de l'Europe. Composition dans les Etats de New-York, Ohio, Kentucky, Indiana, p. 646. — Parallélisme, 669. — Fossiles communs, p. 688. — Fossiles paléozoïques d'Arménie, p. 709. — Terrain dévonien du Harz, p. 759. — Observations diverses, p. 182, 405, 435, 508, 569.

Verres provenant de la fusion artificielle des roches, p. 1380.

Vienne. Hydrosilicate d'alumine, p. 168, 464.

VIQUESNEL. Sur la dolomie à fossiles crétacés de la Haute-Albanie, p. 426. — Observation, p. 435.

VIRLET. Réponse à l'observation de M. Parrot sur les pierres d'Imatra, p. 27. — Réponse à une note de M. Durocher sur le granite à nœuds cristallins de la Bretagne, p. 144. — Traces d'anciens glaciers à Lure (Haute-Saône), p. 296. — Hydrologie de la Brie, p. 373. — Hydrosilicate d'alumine de Milo, p. 468. — Sur le métamorphisme normal, p. 498. — Observations diverses, p. 215, 433, 498, 726.

Vosges. Sur la constitution minéralogique et chimique des roches, p. 774. Roches éruptives, p. 220. — Métamorphisme, p. 230. — Classification du porphyre, p. 240. — Pseudomorphose, p. 247. — Réactions aqueuses, p. 250. — Leptynite, p. 1395. — Fossiles du trias, p. 1429. — Dépôts erratiques, p. 216, 433. — Moraines d'anciens glaciers à Remiremont, p. 288. — Ancien glacier de Wesserling, p. 1156. — Galets striés, p. 301. — Roches striées, p. 78. — — Neiges, p. 1047.

Vosges. Réunion extraordinaire de la Société à Epinal, p. 1378. — Excursions géologiques, p. 1401, 1403, 1407, 1409, 1420, 1425, 1436, 1442, 1445, 1453, 1460. — Phénomènes erratiques, p. 1406, 1418, 1424, 1426, 1436, 1448, 1456.

W

WEGMANN (DE). Rapport sur la gestion de l'archiviste en 1846, p. 1001.

WEIBYE. Sur la théorie des vagues par rapport aux phénomènes erratiques du Nord, p. 1169.

Z

Zemble (*Nouvelle-*), p. 11.

ZIGNO (DE). Sur les terrains stratifiés des Alpes vénitiennes, p. 1100.

FIN DE LA TABLE.

ERRATA.

Pages.	Lignes.
12,	2, *au lieu de :* postage, *lisez :* Portage.
15,	28, *au lieu de :* Fasse, *lisez :* Fassa.
18,	2, *au lieu de :* Cavelli, *lisez :* Corelli.
165,	25, *au lieu de :* Caprina Anguilloni, *lisez :* Caprina Aguilloni.
169,	5 *en remontant, au lieu de : vacules, lisez :* vacuoles.
223,	10, *au lieu de :* Vazergue, *lisez :* l'Azergue.
320,	21, *au lieu de :* Dawningiæ, *lisez :* Downingiæ.
409,	8 *en rémontant, au lieu de :* Staurotites, *lisez :* Staurotides.
414,	8, *au lieu de :* pluviatile, *lisez :* fluviatile.
418,	24, *au lieu de :* des actions, *lisez :* de l'action.
463,	8, *au lieu de :* passage, *lisez :* partage.
463,	35, *au lieu de :* côtes, *lisez :* pentes.
479,	*ligne dernière de la note, au lieu de :* Hilleroé, *lisez :* Hitteróe.
481,	8, *au lieu de :* Schafhäult, *lisez :* Schafhäutl.
481,	28, *au lieu de :* Jorello, *lisez :* Jorullo.
481,	2 *de la note, au lieu de :* Auzeigen, *lisez :* Anzeigen.
482,	22, *au lieu de :* Descatil, *lisez :* Descotils.
482,	4 *de la note, au lieu de :* ès sciences, *lisez :* des sciences.
484,	4 *des notes, au lieu de :* Hilteroé, *lisez :* Hitteróe.
489,	30, *au lieu de :* Brenr'g, *lisez :* Brewig.
494,	20, *au lieu de :* Schafhäult, *lisez :* Schafhäutl.
500,	11, *au lieu de :* application, *lisez :* explication.
500,	23, *au lieu de :* 5 p. 100, *lisez :* 50 p. 100.
501,	6, *il faut une virgule après* des Alpes.
501,	40, *au lieu de :* la Roche en Breuil, *lisez :* la Roche en Brenil.
501,	5 *en remontant, au lieu de :* Roche en Breuil, *lisez :* la Roche en Brenil.
402,	40, *au lieu de :* le chlorite, *lisez :* la chlorite.
504,	24, *au lieu de :* Schafhäult, *lisez :* Schafhäutl.
504,	25, *au lieu de :* Biess, *lisez :* Riess.
567,	25, *au lieu de :* du flanc méridien, *lisez :* du flanc méridional.
568,	20, *au lieu de :* Murchisan, *lisez :* Murchison.
571,	24, *au lieu de :* Ammonites, *lisez :* Nummulites.
575,	7, *au lieu de :* de Kaiserstukz, *lisez :* du Kaiserstuhl.
583,	28, *au lieu de :* Caprina Anguilloni, *lisez :* Caprina Aguilloni.
606,	1re, *au lieu de :* M. Prévost, *lisez :* M. Constant Prévost.
760,	7, *au lieu de :* quarzels, *lisez :* quarzites.
955,	29, *au lieu de :* mines, *lisez :* sciences.
997,	2, *au lieu de :* carnieule, *lisez :* cargneule.

Pages.	Lignes.	
1015,	25,	*au lieu de :* Panillac, *lisez :* Pauillac.
1086,		*dernière ligne en note, au lieu de :* Lenand, *lisez :* Lessard.
1087,	7 *et* 19,	*au lieu de :* Orbin, *lisez :* Orbise.
1089,		*pour l'échelle des deux figures, au lieu de :*

Hauteur, 3 millimètres } pour mètre.
Longueur, 2 id. }

lisez :

Hauteur, 1,5 millimètres } pour mètre.
Longueur, 1 id. }

1089, *Nota.* Dans la fig. 1, la ligne supérieure du terrain a été omise ; elle doit être rétablie à 15 millimètres au-dessus de la ligne du fond de la tranchée.

1090, 1re, *au lieu de :* Forges, *lisez :* Farges.
1092, 24, *au lieu de :* immergé, *lisez :* émergé.
1197, 10, *au lieu de :* nombres, *lisez :* membres.
1221, 25, *au lieu de :* reposer, *lisez :* reposant.
1235, 21, *au lieu de :* de ces dernières, *lisez :* de ces derniers.
1241, 18, *au lieu de : Mélanopsie, lisez : Mélanopside.*
1241, 19, *au lieu de : buccinoïdes, lisez : buccinoïdes.*
1337, 5, *au lieu de :* rôle calorique, *lisez :* rôle de calorique.
1377, MM. de Billy et Levallois n'ont pas assisté à la première séance (10 septembre) de la Réunion extraordinaire à Épinal.
1377, 11, *au lieu de :* Bauja, *lisez :* Bauga.
1378, 16, *au lieu de :* Bauja, *lisez :* Bauga.
1426, 16, *au lieu de :* Hohenuk, *lisez :* Hoheneck.

ERRATUM DU TOME PREMIER,

envoyé tardivement par l'auteur.

356, 23. Dans ce cas, etc..... *Remplacer cette phrase par celle-ci :*

Dans ce cas, les lèvres de ces fentes, avec leurs matières encore incandescentes, poussées en dehors contre l'enveloppe solide par le rétrécissement de son intérieur fluide, seraient l'origine des chaînes.